TRAVAIL DU LABORATOIRE D'HYGIÈNE DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Année 1912 — N° —

THÈSE

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

Par **Jean POIROT-DELPECH**

Ancien externe des Hôpitaux

Médaille de bronze de l'Assistance publique

DE

LA RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE

DES EAUX MINÉRALES

Président : M. CHANTEMESSE, *professeur.*

PARIS

VIGOT FRÈRES, ÉDITEURS

23, PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 23

1912

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Doyen	M. LANDOUZY.
Professeurs	MM.
Anatomie	NICOLAS.
Physiologie	Ch. RICHET.
Physique médicale	WEISS.
Chimie organique et chimie générale	GAUTIER.
Parasitologie et Histoire naturelle médicale	BLANCHARD.
Pathologie et thérapeutique générales	ACHARD.
Pathologie médicale	WIDAL. TEISSIER.
Pathologie chirurgicale	N...
Anatomie pathologique	Pierre MARIE.
Histologie	PRENANT.
Opérations et appareils	HARTMANN.
Pharmacologie et matière médicale	POUCHET.
Thérapeutique	MARFAN.
Hygiène	CHANTEMESSE.
Médecine légale	THOINOT.
Histoire de la médecine et de la chirurgie	LETULLE.
Pathologie expérimentale et comparée	ROGER.
Clinique médicale	DEBOVE. LANDOUZY. GILBERT. CHAUFFARD.
Maladies des enfants	HUTINEL.
Clinique de pathologie mentale et des maladies de l'encéphale	Gilbert BALLET
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	GAUCHER.
Clinique des maladies du système nerveux	DEJERINE.
Clinique chirurgicale	Pierre DELBET. QUENU. RECLUS. SEGOND.
Clinique opthalmologique	De LAPERSONNE.
Clinique des maladies des voies urinaires	N...
Clinique d'accouchements	BAR. PINARD. RIBEMONT DES-SAIGNES.
Clinique gynécologique	POZZI.
Clinique chirurgicale infantile	KIRMISSON.
Clinique thérapeutique	A. ROBIN.

Agrégés en exercice.

MM.			
BALTHAZARD	DESGREZ	LECÈNE	OMBREDANNE
BERNARD	DUVAL (Pierre)	LENORMANT	PROUST
BRANCA	GOUGEROT	LEQUEUX	RATHERY
BRINDEAU	GREGOIRE	LERI	RETTERER
BROCA (André)	GUENIOT	LŒPER	RICHAUD
BRUMPT	GUILLAIN	MACAIGNE	ROUSSY
CAMUS	JEANNIN	MAILLARD	ROUVIERE
CARNOT	JOUSSET (André)	MORESTIN	SCHWARTZ
CASTAIGNE	LABBÉ (Marcel)	MULON	SICARD
CHEVASSU	LANGLOIS	NICLOUX	TERRIEN
CLAUDE	LAIGNEL-LAVASTINE	NOBÉCOURT	TIFFENEAU
COUVELAIRE		OKINCZYC	ZIMMERN

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'École a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A LA MÉMOIRE DE MON GRAND-PÈRE

LE Dr AUGUSTE DELPECH

Professeur agrégé à la Faculté de Médecine
Médecin de l'hôpital Necker
Membre de l'Académie de Médecine
Membre du Conseil supérieur d'Hygiène
Membre du Conseil Municipal de Paris
Conseiller général du département de la Seine
Commandeur de la Légion d'Honneur

A LA MÉMOIRE DE MON PÈRE

HENRI POIROT-DELPECH

Maire de Sèvres
Chevalier de la Légion d'Honneur

29287

A M. le Professeur CHANTEMESSE

Professeur d'Hygiène à la Faculté de Médecine
Médecin de l'Hôtel-Dieu
Membre de l'Académie de Médecine
Membre du Conseil supérieur d'Hygiène
Commandeur de la Légion d'Honneur

Qui m'a fait le très grand honneur de présider la soutenance de cette thèse après m'avoir permis de suivre pendant deux ans (Externat 1910-1911 et 1911-1912) son enseignement à l'Hôtel-Dieu et m'avoir admis à travailler dans son laboratoire à la Faculté.

A M. le Professeur CHAUFFARD

Professeur de Clinique Médicale à la Faculté de Médecine
Médecin de l'Hôpital Saint-Antoine
Membre de l'Académie de Médecine
Officier de la Légion d'Honneur

Qui me fit le très grand honneur de me garder deux années dans son service (Externat 1908-1909 et 1909-1910) me témoignant ainsi une sollicitude dont je lui conserve une bien respectueuse et bien vive reconnaissance.

A M. le Dr CHASSEVANT

Professeur agrégé à la Faculté de Médecine
Chef du Laboratoire d'Hygiène à la Faculté

Qui voulut bien m'inspirer et me guider dans ce modeste travail, ce dont je lui adresse, ici, l'expression de ma profonde gratitude.

A MES MAITRES DANS LES HOPITAUX

M. le Dr MICHAUX

Chirurgien de l'Hôpital Beaujon (1903-1904)

M. le Dr MERKLEN

Médecin de l'Hôpital Laennec (1904) *in memoriam.*

M. le Professeur DEBOVE

Médecin de l'Hôpital Beaujon
Membre de l'Académie de Médecine
(Externat 1905-1906)

M. le Dr SCHWARTZ

Professeur agrégé à la Faculté de Médecine
Chirurgien de l'Hôpital Cochin
Membre de l'Académie de Médecine
(Externat 1906-1907)

M. le Dr BARTH

Médecin de l'Hôpital Necker
(Externat 1907-1908)

M. le Dr MORESTIN

Professeur agrégé à la Faculté de Médecine
Chirurgien de l'Hôpital Tenon

M. le Dr CASTAIGNE

Professeur agrégé à la Faculté de Médecine
Médecin des Hôpitaux

M. le Dr GUILLAIN

Professeur agrégé à la Faculté de Médecine
Médecin des Hôpitaux

M. le Dr RICHE

Chirurgien de l'hôpital Tenon

M. le Dr de MASSARY

Médecin de l'Hôpital Andral

Qui m'accueillirent toujours si aimablement dans leurs services et me donnèrent si libéralement leur enseignement.

A MM. les Drs BARBEY, BAUDOUIN, CAWADIAS, FERRAND, HÉRAUD (de Luxeuil-les-Bains), LAROCHE, LEDERMANN, G. MICHAUX, PAILLARD, PAPIN, ROSTAINE, VEUILLOT, VINCENT.

Qui me prodiguèrent si amicalement leurs conseils.

Je dédie ce modeste travail en témoignage de ma vive reconnaissance.

Nous remercions ici M. le Dr Meillière, chef du Laboratoire de Chimie à l'Académie de Médecine, pharmacien en chef de l'Hôpital Necker, membre de l'Académie de Médecine, de l'obligeance avec laquelle il a bien voulu nous aider à élucider quelques points obscurs de notre tâche.

Nous devons encore remercier ici M. Diénert, chef du Service de Surveillance des Eaux de la Ville de Paris et son préparateur M. Guillerd, pour tout l'aimable empressement avec lequel ils nous ont guidé dans ce travail sur la résistivité électrique, question dans laquelle ils ont acquis une autorité si indiscutable.

Ce serait manquer à notre devoir de ne pas adresser ici nos remerciements et l'expression de notre gratitude aux directeurs d'établissements thermaux, aux Compagnies fermières des sources, qui nous envoyèrent toujours si libéralement et avec tant d'empressement les échantillons d'eaux nécessaires à nos expériences.

DE

LA RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE

DES EAUX MINÉRALES

INTRODUCTION

L'étude de la résistivité électrique des eaux suivant la méthode de Kolrausch a déjà été faite en Allemagne pour de nombreuses sources minérales.

Nous avons pu retrouver dans la littérature scientifique française quelques rares notes concernant la résistivité électrique des eaux ; nulle part nous n'avons découvert une étude d'ensemble de la question ; nous avons voulu, ici, essayer de combler quelque peu cette lacune, en passant en revue les principes de cette méthode d'analyse, et en notant quelques-uns des résultats de nos expériences.

L'idée de ce modeste travail nous fut fournie par M. le professeur agrégé Chassevant ; après avoir passé en revue les travaux si intéressants de M. Dutoit professeur à l'Université de Lausanne sur la volumétrie physico-chimique, travaux que cet auteur résuma dans une conférence faite à la Société chimique de France,

le 12 mars 1910, après avoir examiné les travaux originaux de Kolrausch et d'Ostwald sur la résistivité électrique des solutions, travaux relatés dans la chimie générale d'Ostwald, nous fîmes l'étude des intéressantes communications de M. Diénert, chef du service de surveillance des eaux de la ville de Paris, sur la résistivité des eaux de sources alimentant notre capitale, données sur lesquelles les services d'hygiène de la ville s'appuient pour juger rapidement de l'identité de leurs eaux ; c'est ainsi que nous fûmes amenés à penser que l'étude de ce phénomène physique, la résistivité électrique, pourrait en s'appliquant aux eaux minérales, constituer un élément de contrôle de plus de l'identité et de la constance de minéralisation des sources.

Ce procédé d'analyse semble présenter sur les autres l'énorme avantage d'être rapide et simple ; il permet en quelques instants de dépister une fraude, de voir si une eau donnée est identique à ce qu'elle était, de rapprocher le chiffre donné par l'expérience actuelle du chiffre fourni par une expérience précédente. C'est une donnée analytique de plus, fonction et synthèse des autres, qui doit être constante comme doit être constante la composition même des eaux ; elle paraît bien avoir sa place marquée dans les protocoles d'analyses d'eaux minérales.

Dans les pages qui suivront nous indiquerons tout d'abord le principe même de la méthode, envisageant rapidement les lois de chimie physique qui permettent de l'établir ; plus loin nous décrirons avec soin toute l'instrumentation nécessaire aux expériences, insistant

sur les particularités et les différentes modifications apportées à ces instruments ; nous parlerons de la disposition raisonnée des appareils, de l'énergie électrique à employer, de l'influence des conditions opératoires, enfin nous dirons un mot de l'interprétation des phénomènes.

Dans un dernier chapitre nous parlerons des résultats de nos expériences sur la résistivité électrique de quelques-unes des principales sources minérales françaises, en classant ces sources d'après leur composition chimique et en donnant, autant que possible, pour chacune d'elles, avec nos chiffres de résistivité, les résultats de l'analyse chimique la plus récente.

Nous aurions voulu, dans notre thèse, ajouter aux résultats de nos recherches sur la résistivité, un chapitre sur l'analyse volumétrique physico-chimique des eaux minérales par le procédé que M. Dutoit a employé pour les analyses de vins ; le cadre de notre travail nous force à renvoyer cette étude à une publication ultérieure.

Nous aurions aussi désiré parler ici de nos recherches sur le point d'ionisation complète des sels contenus dans une eau minérale donnée, recherches effectuées par des méthodes de chauffage et de dilution ; si l'on admet, comme l'opinion paraît s'en accréditer, que les effets thérapeutiques des eaux minérales sont dus aux propriétés physiques des électrolytes dissociés qu'elles contiennent, cette question de l'ionisation complète des sels semble présenter, *a priori*, un certain intérêt eu égard aux variations qu'elle pourrait entraîner dans la

posologie des eaux minérales ; élucider ce point nous entraînerait trop loin du sujet même de cette thèse, c'est pourquoi nous devons le renvoyer lui aussi à une étude ultérieure.

Dans notre thèse, nous nous limiterons donc à l'examen de la seule question de la résistivité électrique de quelques eaux minérales, en donnant, à la partie théorique, un tour aussi détaillé que possible afin de rendre la compréhension de la méthode accessible à tous, nous rappelant que ce modeste travail ne s'adresse pas à des physiciens, mais à des médecins, à des hommes instruits n'ayant au point de vue physico-chimique que la bonne culture générale.

CHAPITRE PREMIER

Principes de la méthode d'analyse.

Il nous faut dire ici quelques mots des notions qui ont présidé à l'établissement de cette méthode électrique d'analyse. Tout d'abord il nous est indispensable d'étudier quelque peu la question de l'ionisation des sels en solution, point si nouveau, si intéressant de la chimie physique dont la notion est si fertile pour l'hydrologie puisque l'on tend de nos jours à attribuer aux seuls sels *ionisés* l'action thérapeutique des eaux minérales (1).

Nous savons que l'eau chimiquement pure ne se laisse pas traverser par le courant électrique ; l'eau distillée absolue (fait pratiquement impossible à réaliser) est mauvaise conductrice de l'électricité. L'addition d'une petite quantité d'un sel, d'un acide ou d'une base donne à l'eau distillée la propriété de conduire le courant électrique.

1. D'après les Conférences d'Hydrologie de M. le professeur agrégé Chassevant (1910-1911).

Volta, au début même de ses expériences sur l'électricité, fut frappé de ce fait.

En 1800, H. Davy découvre l'électrolyse et reconnaît déjà la décomposition d'un corps en solution sous l'influence du courant électrique ; il établit que ces atomes, résultats de la décomposition du corps en solution sont, dans l'électrolyse, dirigés vers le pôle négatif, lorsqu'ils sont chargés d'électricité positive, vers le pôle positif lorsqu'ils sont chargés d'électricité négative.

Faraday désigna sous le nom *d'ions* les particules chargées d'électricité de nom contraire qui se déposaient sur les électrodes.

Svante Arrhénius dans la théorie des *ions* actuellement adoptée, théorie qui explique un grand nombre des phénomènes physico-chimiques que nous constatons, admet qu'au moment de leur dissolution les molécules des corps dissous se comportent comme des molécules gazeuses et que les électrolytes se dissocient en mettant leurs *ions* en liberté ; cette dissociation étant limitée par un état d'équilibre.

Cette dissociation absorbe ou met en liberté de l'énergie, suivant les règles de la thermo-chimie découvertes par Berthelot ; cette énergie, au lieu de se dégager, s'accumule sur les *ions* sous forme de charges électriques statiques.

Les *ions* sont donc des atomes enveloppés d'une atmosphère d'énergie. Or, fait de grande importance, seules les substances capables d'*ionisation* (dissociation) lorsqu'elles sont dissoutes, communiquent aux solu-

tions la propriété de conduire le courant électrique, car seuls les *ions sont susceptibles de conduire les charges électriques, à travers la solution, vers le pôle opposé.* Il résulte de cette hypothèse qu'il doit y avoir une relation proportionnelle entre la *conductibilité* d'une solution (inverse de la résistivité) et le nombre des *ions* contenus dans la solution. Plus grand est le nombre des *ions* contenus dans la solution, plus la conductibilité est grande, plus la résistivité est faible.

Le degré d'ionisation d'un sel en solution dépend évidemment de la température ; le nombre des *ions* contenus dans une solution, augmente quand la température s'élève.

Pour revenir plus immédiatement à notre sujet, nous pouvons dire, qu'à une température donnée, une eau minérale par définition constante dans sa minéralisation, présente une ionisation toujours la même, et par conséquent, une conductibilité et une résistivité électriques invariables puisque liées à l'ionisation.

C'est la mesure de cette résistivité électrique de quelques eaux minérales que nous nous proposons d'exposer et de commenter dans ce modeste travail. Il semble en effet que la détermination de la résistance électrique fournisse une constante physique facile à rechercher et constitue un intéressant moyen de contrôle des sources.

Ce contrôle rapide, simple, peu coûteux pourrait éclairer les médecins hydrologues sur *l'évolution* de leurs sources, suppléant ainsi d'une façon sommaire aux analyses chimiques dont les plus récentes pour la plupart des sources datent, hélas, de plus de vingt ans.

Et depuis vingt ans, toutes les sources, même les plus indiscutablement *plutoniennes*, sous des influences sismiques ou autres, ont dû *évoluer* au point de vue de leur composition chimique! N'y a-t-il pas un intérêt thérapeutique à suivre de près ces *évolutions?* En considérant que l'eau minérale paraît plutôt agir par la qualité, les propriétés physiques (chaleur, électricité, radio-activité, état colloïdal, etc.) de ses atomes, de ses ions, que par la masse totale souvent très faible, impondérable parfois des substances minérales qu'elle contient.

En envisageant de la sorte la pharmacodynamie des eaux minérales, on conçoit immédiatement quelles énormes différences dans l'action thérapeutique peuvent entraîner les plus petites variations dans la minéralisation, dans la quantité de sels ionisés.

La surveillance continue des eaux minérales par analyses chimiques ne saurait être réclamée car on ne peut pas demander aux directions d'exploitations minérales de faire répéter fréquemment une analyse aussi coûteuse. La surveillance de la résistivité électrique d'une eau semble combler quelque peu cette lacune, elle permet de dépister les plus légères variations de constitution physico-chimique de l'eau, donnant ainsi des indications posologiques certaines et raisonnées.

CHAPITRE II

Instrumentation et conditions des expériences

Pour étudier la résistance électrique d'une solution, le seul appareil d'un emploi pratique est le Pont à fil, appareil construit sur le principe du Pont de Wheatstone. Comme tous ceux qui se sont occupés de cette question de mesure des résistances, c'est donc avec le Pont à fil que nous avons pratiqué nos expériences sur la résistivité électrique des eaux minérales.

Pont de Wheatstone

Comme l'indique le schéma qui suit, le pont de Wheatstone est constitué par une série de fils électriques de résistance négligeable fixés à 4 bornes, A, B, C, D, et formant ainsi un quadrilatère.

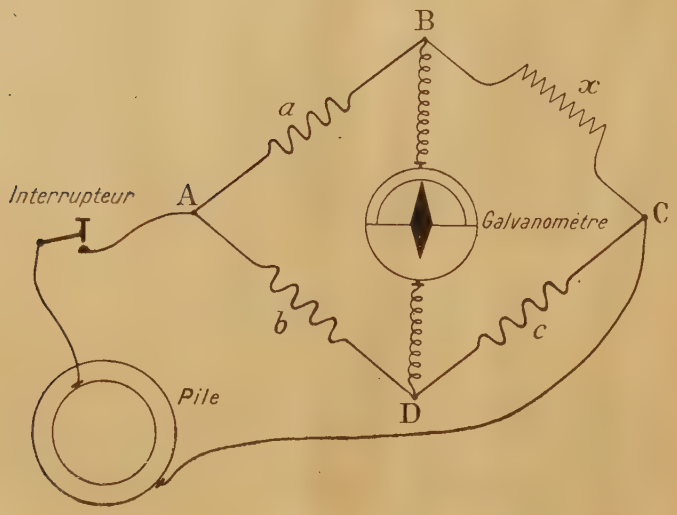
Les 2 pôles B et D sont réunis par un circuit de fil sur lequel se trouve un galvanomètre. Sur AB, sur AD on interpose des boîtes de résistances *a* et *b*.

En BC on place *x*, la résistance à déterminer, en DC un grosse boîte de résistance. Le co urant électrique d'une

pile entre en A, sort en C, se divisant également entre les 2 bras du Pont.

On donne à a et à b une valeur égale ou un rapport donné. On conçoit que si les résistances sont égales en x et en c, il n'y aura aucune différence de potentiel entre B et D, aucun courant ne traversera donc le galvanomètre qui restera au O.

Pratiquement, pour faire la mesure de x on fait varier la résistance c de la grande boîte de résistance, jusqu'à équilibre, c'est-à-dire, jusqu'à ce que le galvanomètre reste au O; on peut alors, évidemment écrire :



$$\frac{a\,(\text{connu})}{b\,(\text{connu})} = \frac{x\,(\text{inconnu})}{c\,(\text{connu})}$$

d'où l'on tire :

$$x\,(\text{inconnu}) = \frac{a}{b}\,c$$

Voici, rappelé en quelques mots, le principe si simple du Pont de Wheatstone. Comme nous l'avons dit déjà, nous nous servirons, pour nos expériences, du Pont à fil, appareil plus simple et surtout plus rapide, réduisant, de beaucoup, les tâtonnements ; le principe est, du reste, le même, *basé*, comme nous le verrons plus loin, sur l'absence de passage du courant entre 2 branches de bifurcation d'un circuit parcouru par un courant électrique.

Pratiquement dans le dispositif de notre instrumentation il convient de considérer *deux parties* bien distinctes : d'une part la source d'énergie électrique dont nous ne dirons que quelques mots, d'autre part la série des appareils de mesure que nous étudierons séparément et plus complètement afin de bien fixer les conditions des expériences.

A. — SOURCES D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

Ce sont les piles Leclanché du commerce, d'un emploi si simple et d'un entretien si facile qui nous fournissent l'énergie électrique ; ces piles sont, évidemment, montées en série. Ici, nous devons nous attarder quelques instants à considérer une question qui paraît loin d'être négligeable : le nombre de piles à employer? En moyenne, et dans la majorité des cas, nous avons pu faire des lectures satisfaisantes en employant *deux*

éléments Leclanché ; toutefois, quand on veut mesurer la résistance de liquides fort peu conducteurs, tels que l'eau récemment distillée, il est bon, dans l'intérêt même de la précision des expériences, de monter *trois* piles en série, au lieu de *deux ;* au contraire, quand on examine des solutions assez minéralisées et, partant, fort peu résistantes, l'emploi d'un seul élément Leclanché permettra une plus grande exactitude dans les lectures ; mais ce sont là, en somme, des moyens auxquels on n'a vraiment à recourir que dans les cas extrêmes.

Les fils partant du groupe de piles vont aboutir aux deux bornes du solénoïde d'une bobine de Ruhmkorff.

Nous constituons ainsi un circuit primaire, électromoteur, et c'est du courant induit de la bobine, du circuit secondaire (1) que nous nous servons pour nos mesures.

Notons encore la nécessité de placer un interrupteur sur le courant primaire ; pratiquement l'interrupteur de fortune à godets de mercure paraît pleinement suffisant.

En passant, signalons aussi tout l'intérêt qu'il peut y avoir à couper le courant le plus rapidement possible après l'avoir établi ; on ne doit laisser passer l'influx électrique que pendant le court laps de temps nécessaire à l'expérience ; en effet, tout passage prolongé du courant paraît créer entre les électrodes de la cuve à eau,

1. Cet emploi du courant induit, alternatif, présente sur l'emploi du courant primaire, continu, le gros avantage de ne pas abîmer les *boîtes de résistances* et de ne pas produire de polarisation dans la solution d'électrolytes dont on mesure la résistance.

eu égard à la constitution même de l'eau minérale examinée, des PILES SECONDAIRES qui faussent quelque peu et, en tous cas, compliquent les expériences ; notons enfin que ces piles secondaires paraissent se produire avec plus d'intensité lorsque l'on examine des eaux sulfureuses ou fortement sulfatées (les eaux de Bagnères-de-Luchon et d'Uriage par exemple).

B. — APPAREILS DE MESURE

Comme nous venons de le dire dans le paragraphe qui précède, c'est sur le courant secondaire que nous donne une bobine de Ruhmkorff que fonctionnent nos appareils de mesure ; cette disposition, tout en nous permettant d'avoir un courant présentant d'autres qualités que le courant primaire, nous permet, en outre, comme nous le verrons plus loin, de remplacer dans nos expériences, le galvanomètre si délicat, si sensible à toutes les influences électriques ou autres qu'on ne peut bannir d'un laboratoire, par un simple microphone, signal robuste, précis et insensible aux influences extérieures.

ETUDE DES INSTRUMENTS

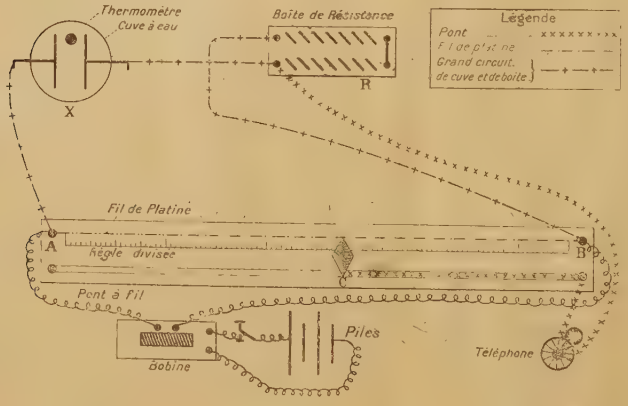
a) *Pont à fil.* — Sans nous attarder à la description et à l'exposé du principe de cet appareil, nous devons cependant le considérer encore, car il constitue la pièce

capitale de toute notre instrumentation, c'est le pivot en quelque sorte de tout notre dispositif expérimental et c'est en l'étudiant que nous devons donner un schéma général des expériences.

Le Pont à fil, ou Pont de Kohlrausch, est formé d'un plateau de marbre sur lequel sont montées parallèlement et sur bornes :

1° Une réglette de cuivre d'un mètre de long sur un centimètre de section, réglette par conséquent de résistance pratiquement nulle.

2° Un fil de platine d'un millimètre de section sur un mètre de long lui aussi.



Soient :

X la résistance à déterminer.

a la distance du curseur C à la borne A.

b la distance du curseur C à la borne B.

R la résistance connue de la boîte.

Quand par suite d'un déplacement judicieux du curseur C, on a donné aux 2 portions du fil de platine a et b des valeurs telles que l'équilibre

s'est établi, que l'on ne perçoit plus les vibrations du trembleur dans le microphone, aucun courant ne passant plus dans le pont, on peut écrire :

$$X = \frac{a}{b} R$$

Le fil de platine, bien tendu entre deux mâchoires à vis multiples, est placé dans toute sa longueur sur une règle de bois de un mètre divisée en millimètres ; un index curseur de métal unit la réglette de cuivre au fil de platine ; c'est ce curseur qui, se déplaçant sur le fil de résistance énorme, parvient à déterminer l'équilibre entre les résistances de deux branches du circuit, l'une connue l'autre inconnue et donne sur la réglette le chiffre qui sera la base du calcul.

Pour faciliter l'exposé, nous pouvons, dès à présent, entrer dans les détails de montage des appareils.

Nous avons déjà vu ce qu'était, dans notre dispositif, le groupe électromoteur : deux éléments Leclanché, parfois trois, suivant les circonstances, donnant le courant primaire d'une bobine de Ruhmkorff ; sur le circuit primaire, un interrupteur (1). Partant de la borne positive du courant induit, un circuit de fil arrive en B, extrémité du fil de platine ; à ce point il se bifurque, comme dans le pont de Wheatstone schématique, une des branches suit le fil de platine, passe en C (contact du curseur) et va jusqu'en A, figurant la branche du pont ne contenant pas l'inconnue ; de A, le fil (simple fil de

1. Voir schéma qui précède.

sonnette) va se fixer à la borne négative du courant induit sur la bobine.

La seconde branche de bifurcation est loin d'avoir, dans le pont à fil, la même simplicité de disposition que dans le pont de Wheatstone schématique. De B la branche de bifurcation va à l'un des pôles de la boîte de résistance R ; après avoir traversé la boîte de résistance, la branche retourne en A, extrémité du fil de platine, après avoir traversé la cuve X contenant le liquide de résistance à déterminer ; on conçoit immédiatement, en se reportant au schéma type du pont de Wheatstone, qu'un pont jeté au moyen d'un fil entre le pôle de sortie du courant de la boîte de résistance et C le curseur mobile sur le fil de platine, on comprend, dis-je, qu'un pareil circuit se comporte à la façon du pont où se trouve le galvanomètre dans le schéma type. Lorsque, par suite de l'introduction dans la boîte R d'une résistance appropriée (point sur lequel nous reviendrons plus loin), lorsque, par suite du déplacement judicieux du curseur C sur le fil de platine (déplacement donnant respectivement aux portions de fil C A (a) C B (b) des valeurs appropriées) on arrive à l'équilibre, à ce qu'il n'y ait plus aucune différence de potentiel entre les deux pôles du pont, aucun courant ne passe plus dans ledit pont, le galvanomètre y reste au O, au repos.

Ce phénomène de l'absence de tout courant dans le pont est traduite, dans nos expériences, par le silence absolu dans un microphone placé sur ce pont, silence remplaçant les vibrations du trembleur de la bobine que l'on perçoit nettement quand le courant passe.

Nous reviendrons plus loin et nous insisterons plus longuement sur la question du microphone signal.

Disons encore que dans les branches de bifurcation la résistance des fils est pratiquement négligeable, leur diamètre devant être celui des gros fils de sonnettes.

En temps que résistances, sont donc seules à considérer dans les deux branches de bifurcation, les résistances de la cuve X, de la boîte R et des deux portions variables a et b du fil de platine.

Supposons que nous ayons obtenu le silence absolu dans le microphone, nous avons donc de part et d'autre du pont des résistances égales ; pour arriver à ce résultat nous avons introduit dans la boîte une résistance R, nous avons fait glisser C, curseur placé à l'extrémité du pont de façon à avoir des portions a et b de fil de platine de résistances telles qu'une simple lecture en donne le rapport ; nous avons là tous les éléments d'une équation : nous avons le droit de dire : le rapport

$$\frac{\text{a (connu)}}{\text{b (connu)}} = \frac{\text{X (résistance inconnue à déterminer)}}{\text{R (résistance dans la boîte)}}$$

d'où l'on tire :

$$\text{X (résistance de l'eau minérale examinée)} = \frac{a}{b} R$$

en termes plus explicites, X, la résistance cherchée, est le quotient de a par b (distances respectives du curseur C, à A et à B) multiplié par R la résistance connue introduite dans la boîte.

Après avoir insisté quelque peu sur le schéma des expériences, la théorie de l'emploi et de la disposition des appareils, il nous faut, avant d'abandonner la ques-

tion du pont à fil, dire encore quelques mots du fil de platine en lui-même, de sa surveillance et de quelques conditions expérimentales s'y rapportant.

Le fil de Platine doit être l'objet d'une surveillance minutieuse et fréquente. Pour un même fil il faut surveiller avec soin la tension et il faut, de plus, vérifier de temps à autre la justesse ; ces opérations qui ont une importance secondaire pour un fil dûment étalonné et déjà vérifié, passent au premier plan pour un fil nouveau et non encore étalonné. En effet, un vice de filetage, une paille, imperceptibles dans un fil d'un si petit diamètre, peuvent cependant conditionner des variations importantes dans la résistance de l'une ou l'autre partie du fil, de là, évidemment, des erreurs dans les lectures et dans les résultats.

Pour étalonner un fil de platine, il suffit de remplacer la cuve par une seconde boîte de résistance. En introduisant dans chacune des deux boîtes une résistance égale, on doit obtenir le silence au microphone lorsqu'il y a de part et d'autre du curseur C une longueur de fil de platine égale, c'est-à-dire lorsque le curseur est à la division 50 de la règle, si, toutefois, le fil est homogène et bien tendu. Lorsque le silence se produit au delà ou en deçà de la division 50, il faut arriver à l'équilibre et au silence à la division 50 en ajoutant dans la boîte de résistance de droite (B) ou dans celle de gauche (A) à la résistance initiale, une fraction d'ohm ; par la suite. dans les expériences, il faudra corriger les lectures en ajoutant ou en retranchant, suivant les cas, du chiffre d'équilibre obtenu, le

nombre des divisions, lues à droite ou à gauche du 50 au moment de l'étalonnage du fil.

On peut essayer aussi de rétablir l'équilibre à 50 en modifiant la tension du fil.

Pour nous, à plusieurs reprises, notre fil examiné et retendu nous a toujours donné le silence à 50 juste ou entre 49,9 et 50 ; ces résultats nous parurent pleinement satisfaisants.

Avant de passer à l'étude du microphone, disons encore que le pont à fil doit être entretenu avec soin ; il faut le couvrir avec précaution, éviter le contact des acides, du mercure, qui rendraient le fil de platine inutilisable ; il faut, en outre, enlever légèrement les poussières qui peuvent s'amasser entre le fil et la règle, modifiant ainsi les conditions des expériences.

b) *Le microphone.* — Nous ne nous arrêterons pas à décrire notre microphone qui ne présente rien de bien particulier, c'est le récepteur téléphonique courant du commerce.

Nous savons déjà où l'on doit le placer sur le circuit du pont.

Nous n'ignorons pas son but précis : nous avertir, nous signaler si le courant passe ou ne passe pas dans le pont ; si le courant passe on perçoit à l'oreille, d'une façon nette, les vibrations du trembleur de la bobine de Ruhmkorff, si le courant ne passe plus, c'est le silence.

Pour obtenir ces variations, tenant d'une main le récepteur appliqué sur l'oreille, on déplace de l'autre le curseur sur la réglette de cuivre et, partant, on fait varier la position C dudit curseur sur le fil de platine.

Il est évident que le courant ne s'arrête pas dans le pont d'une façon subite ; le courant devient moins intense quand on approche de l'équilibre, du point de silence, les vibrations sont atténuées ; en conséquence, quand nous faisons varier le curseur autour du point C optimum, nous percevons de part et d'autre, plus ou moins rapidement, la réapparition de vibrations faibles d'abord, puis de plus en plus intenses et revenant plus ou moins vite à droite et à gauche, aux vibrations complètes du courant normal. Il est évident, et cela constitue un bon moyen de contrôle, que le point C est au milieu et à égales distances de deux points, de part et d'autre, où les vibrations sont d'égale intensité.

Il y a là, ce n'est pas douteux, une petite éducation auditive à effectuer mais elle est, à vrai dire, rapidement satisfaisante, et des observateurs peu exercés arrivent vite à faire des lectures fort précises.

Dans cette question du *silence* il est plusieurs facteurs à considérer et en particulier :

La *durée*, c'est-à-dire la longueur d'échelle que peut parcourir le curseur sans que l'observateur perçoive les vibrations.

La *qualité*, c'est-à-dire le degré de silence, question étroitement connexe à la précédente et qui, comme elle, nécessite quelques explications quant à l'interprétation et quant aux modifications possibles à y apporter, par des artifices opératoires, pour la plus grande rigueur des résultats.

Où commence, où finit le silence? ce sont les deux points, les deux chiffres à déterminer ; ils varieront évi-

demment suivant l'acuité auditive de chacun, mais ils varieront, aussi, d'égale façon, et le point de silence absolu sera toujours au milieu, à égale distance de l'un et de l'autre ; en expérimentant il faut toujours commencer par un glissement assez rapide du curseur, on perçoit alors la zone du silence, puis on détermine, par tâtonnement, en faisant glisser alternativement le curseur de droite à gauche, de gauche à droite, les deux points où les vibrations réapparaissent ; le point optimum est au milieu.

Parfois le silence est peu net, ou n'existe en quelque sorte pas du tout et est remplacé par un seul affaiblissement notable des vibrations ; cependant, dans la majorité des cas, en déplaçant rapidement le curseur, on arrive à déterminer les deux points, les deux chiffres d'égale affaiblissement d'intensité, nécessaires à une bonne lecture.

Les cas de silence un peu prolongé, se produisent lorsque l'eau à examiner présente une forte résistance, tel est le cas de l'eau distillée par exemple ; au contraire, lorsque l'on n'arrive pas au vrai silence, c'est parce que le liquide est bon conducteur, peu résistant. Lorsque ces inconvénients sont trop accusés et menacent d'entacher d'inexactitude la valeur des expériences, on peut facilement y remédier mais, en partie seulement ; comme nous l'avons déjà dit plus haut, c'est à la force électromotrice qu'il conviendra de s'adresser ; dans le cas de silence prolongé, de résistance trop grande du liquide à examiner, on ajoutera un ou même deux éléments Leclanché ; dans le cas, certainement plus fré-

quent, où le silence ne paraît pas suffisamment net, c'est en réduisant à un seul élément la source d'énergie que nous pallierons un peu, aux difficultés d'observation résultant de cet état de choses.

c) *La boîte de résistance.* — Il n'est pas dans notre intention de décrire ici une boîte de résistance ; c'est là, en effet, un instrument de mesure physique dont la construction et l'emploi sont présents à l'esprit de tous. Nous devons cependant nous arrêter ici, quelques instants, à examiner rapidement sur quel type de boîte doit porter notre choix, sur la manière d'utiliser ladite boîte dans l'ordre particulier d'expériences qui nous occupe.

Il est des boîtes de résistances énormes, mais dans les cas que nous avons à considérer, la boîte de résistance moyenne, variant de un dixième d'ohm, à 1.100 ohms [ce dernier chiffre étant obtenu en totalisant les résistances de la boîte] convient absolument ; on n'éprouve vraiment quelque difficulté à se servir d'un pareil type d'instrument, cette boîte est, réellement, trop peu résistante, que dans le cas d'examen d'un liquide très résistant, l'eau fraîchement distillée par exemple.

Nous avons vu, dans un paragraphe précédent, quelle est la place à assigner à la boîte dans le montage des appareils, nous n'y reviendrons pas.

Quelle est la résistance à introduire entre les deux pôles de la boîte ?

La réponse à cette question est fort simple ; la résistance à introduire varie avec l'eau à examiner ; une résistance de dix ohms par exemple, convient parfaitement pour l'examen d'une eau assez minéralisée, l'eau

de Vichy-Célestins par exemple. Au contraire, une résistance de 100 ohms environ, semble convenir à une eau moyennement résistante comme l'eau de Vittel.

D'une façon générale, pour faire une bonne mesure, il convient d'introduire dans la boîte une résistance telle que le silence se produise aux environs de la division 50 de la règle qui soustend le fil de platine ; notons encore qu'il faut éviter les lectures au-dessous du 40 et au-dessus du 60 de la règle ; en agissant ainsi, on réduit au minimum et on rend négligeables les causes d'erreur dues à la constitution même du fil de platine ; pour arriver à ce résultat, il suffit d'un léger tâtonnement ; on trouve rapidement la résistance de boîte la plus convenable à l'examen d'une eau donnée.

Pour contrôler la valeur d'une expérience il est bon, avec une eau donnée, de faire deux ou trois lectures en introduisant chaque fois une résistance différente dans la boîte (100, puis 120, puis 130 ω par exemple) ; ces deux ou trois chiffres, toutes conditions d'expériences étant égales, doivent, avec un expérimentateur exercé, donner, après calculs, des quotients semblables ou extrêmement voisins ; dans le cas de résultats différents on peut s'en tenir au chiffre moyen, à la condition, toutefois, d'avoir fait quatre ou cinq lectures et de s'être assuré qu'aucune condition extérieure, qu'aucune erreur de méthode, n'est venue troubler la rigueur des expériences.

Comme nous l'avons dit déjà, une seconde boîte, pareille à celle dont nous venons de parler, peut présenter quelque utilité en particulier pour remplacer la cuve dans l'étalonnement ou la vérification du fil de

platine ; on peut cependant éviter l'acquisition de ce second appareil, relativement dispendieux, en divisant en deux parties la boîte de résistance et en plaçant, au moyen de fils, chaque partie dans le circuit général de part et d'autre du pont à fil ; cette opération est habituellement facilitée par la présence de bornes et d'un pont de cuivre amovible, à l'extrémité de la boîte opposée au côté d'arrivée et de départ du courant.

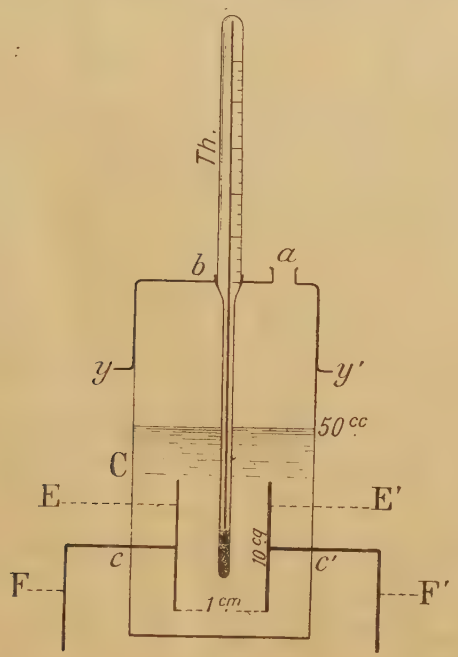
Notons enfin que, comme tous les contacts du dispositif expérimental, ceux de la boîte de résistance doivent être fréquemment surveillés et vérifiés ; avant chaque lecture il est bon de s'assurer que toutes les fiches sont bien enfoncées ; afin d'éviter toute erreur il convient de ne jamais toucher à la partie métallique de ces fiches ; il peut même être utile d'en décaper le cuivre de temps à autre avec un acide faible très étendu d'eau.

d) *La cuve.* — La cuve employée pour nos expériences est du type de celle présentée par M. Dutoit à la Société chimique de France.

Elle se compose d'un récipient de verre *C* d'une hauteur de 12 à 15 centimètres environ, sur 3 à 4 centimètres de diamètre, présentant deux orifices à l'extrémité supérieure : un central (*b*) par lequel passe un thermomètre *th* dont le réservoir doit descendre dans le liquide à examiner jusqu'à 2 centimètres du fond de la cuve (entre les 2 électrodes E, E') ; ce thermomètre est gradué en dixièmes de degré centigrade de 15 à 30° ; l'autre orifice (*a*) est destiné à l'introduction du liquide.

De part et d'autre de la cuve, à 3 centimètres environ de la base, (en *c* et *c'*), pénètrent les fils de platine

conduisant respectivement aux 2 électrodes E et E' ; ces 2 électrodes, surfaces métalliques planes et parallèles, doivent avoir 10 centimètres carrés de superficie cha-



cune, elles sont situées à 1 centimètre de distance l'une de l'autre ; ainsi, le cube d'eau compris entre E et E' est de 10 centimètres cubes.

Entre les 2 électrodes vient plonger le réservoir du thermomètre.

Notons ici que l'on peut faire construire des cuves à partie supérieure amovible en y, y' ; la fermeture hermétique est assurée par un bon rodage à l'émeri ; ce dispositif présente de réels avantages pour l'introduction du liquide à examiner et le nettoyage de la cuve.

La cuve est posée sur un grand godet de parafine, présentant, de part et d'autre, de petits godets à mercure où viennent plonger les fils F et F' ; c'est par l'intermédiaire de ces godets à mercure que l'on établit le courant qui doit parcourir tout le dispositif expérimental.

Pour faire de bonnes lectures, la quantité de liquide à mettre dans la cuve est de 50 centimètres cubes environ ; ce chiffre n'a, du reste, rien d'absolu, son importance est très secondaire, le seul résultat à obtenir est que les électrodes baignent largement, tout entières, dans le liquide à examiner. Quoi qu'il en soit, la quantité doit toujours être la même dans une série d'expériences ; aussi le liquide doit-il être soigneusement mesuré, avec une pipette, une burette préablement rincées, et avec l'eau distillée, et avec le liquide à examiner. Comme nous l'avons déjà dit c'est par l'orifice (a) que l'on introduira le liquide.

Nous venons de parler, déjà, de la forme et de la surface à donner aux électrodes de la cuve : quadrilatère de 10 centimètres carrés, les deux électrodes étant à 1 centimètre l'une de l'autre ; il est, à ce propos, un point sur lequel il convient de s'arrêter quelques instants : LA NATURE DES ÉLECTRODES. De toute évidence, ce sont les électrodes de platine qui présentent les plus gros avantages, mais elles ont l'inconvénient, malgré leur faible épaisseur, d'élever considérablement le prix de la cuve, de plus elles ont besoin d'être ménagées, de ne pas trop servir ; les électrodes d'argent, de beaucoup de moins chères, ne peuvent servir à toutes les

expériences, en particulier, leur emploi doit être proscrit pour les examens des eaux sulfureuses ou fortement sulfatées ; en effet, si on ne suivait cette prescription, il se produirait, sur les plaques, des sulfures d'argent qui d'abord fausseraient les résultats, et, ensuite, rendraient vite les électrodes inutilisables.

D'une façon générale, et, bien que cela paraisse paradoxal, dans un but d'économie, on peut conseiller l'emploi simultané de deux cuves différentes :

Une cuve à électrodes d'argent pour les expériences courantes ;

Une cuve à électrodes de platine pour l'examen des eaux sulfureuses ou fortement sulfatées, le platine, bien entretenu, soigneusement lavé après chaque lecture, n'étant pas ou peu attaqué au cours de ces expériences.

Nous ne pouvons abandonner ce paragraphe descriptif de la cuve sans dire un mot des précautions nécessaires à prendre pour l'entretien en bon état de cet appareil, la valeur des expériences en dépend :

Avant et après chaque expérience, la cuve doit être rincée par deux fois à l'eau distillée ; il sera bon aussi, avant l'expérience, de la rincer une fois avec le liquide à examiner.

A la fin de chaque séance, il est indispensable de remplir complètement la cuve d'eau distillée avant de la ranger.

Dans certains cas, on peut être obligé de nettoyer énergiquement, de décaper les électrodes ; pour ce faire on se servira d'un acide faible étendu d'eau que l'on

laissera, suivant les besoins, séjourner plus ou moins longtemps dans la cuve.

Conditions de température. — Pour que nos expériences soient comparables et aient une certaine rigueur, il est de toute évidence que les conditions de température doivent entrer en jeu ; les lois même de l'ionisation des sels en solution, lois qui nous apprennent que la quantité de sels ionisés varie avec la température, donnent à ces conditions thermométriques une valeur primordiale ; c'est là même, la raison d'être du thermomètre divisé en dixièmes de degré centigrade que nous avons signalé en décrivant la cuve.

Nous avons vu où il convient de placer ledit thermomètre ; insistons sur ce point qu'il faut introduire avec précaution le réservoir thermométrique dans la cuve, afin de ne pas toucher aux électrodes qui, vu leur faible épaisseur, pourraient se déplacer ou se fausser sous le moindre choc.

Comme tous ceux qui se sont occupés de la résistivité électrique des solutions salines, c'est à 18° que nous effectuons nos expériences.

En été, on parvient facilement à maintenir la solution à examiner à cette température de 18°, en plaçant la cuve dans un récipient contenant de l'eau fraîche, à laquelle on peut, s'il en est besoin, ajouter quelques morceaux de glace.

Dans la moyenne des saisons, on atteint facilement le degré de température voulu en chauffant à la main, la cuve contenant le liquide à examiner. Recommandons, en passant, d'agiter légèrement la cuve pendant

ce chauffage à la main, afin que la chaleur se répartisse également dans toute la masse liquide. Pendant les grands froids, un rapide séjour de la cuve dans un peu d'eau tiède, permet d'atteindre rapidement la température voulue, mais ce chauffage doit être fort prudent, car, rappelons-le, notre thermomètre éclaterait au-dessus de 30° Il est de toute évidence que la température doit être constamment surveillée au cours de chaque expérience, toute variation thermométrique entraînant des variations appréciables de résistivité, comme nous l'avons déjà dit au début même de ce paragraphe.

Coefficient de cuve. — Nous avons vu, au moment de notre description du pont de Wheatstone, comment on procédait pour calculer le résultat des expériences ; nous savons donc que la résistivité à déterminer égale le quotient du chiffre (a) compris entre le 0 de l'échelle graduée et le point de silence, par (b), le nombre de divisions comprises entre le point de silence et le 100 de l'échelle ; ce quotient étant multiplié par R, résistance variable mais connue introduite artificiellement dans la boîte on

$$a : X = \frac{a}{b} R$$

Dans le calcul de la formule $X = \frac{a}{b} R$, il n'est pas question d'un autre facteur variable, la valeur du cube de liquide compris entre les deux électrodes ; la formule nous donne donc la résistivité totale de ce cube liquide, mais, pour avoir des résultats de valeur absolue, pour avoir la résistivité de l'unité, le centimètre cube, il faudrait, évidemment, calculer la capacité du cube liquide

compris entre les électrodes, à une température donnée, et multiplier par le coefficient ainsi obtenu le chiffre que nous donne la formule.

Le cube liquide compris entre 2 électrodes de chacune 10 centimètres carrés, ces électrodes étant distantes de 1 centimètre l'une de l'autre, doit être théoriquement de 10 centimètres cubes, mais, pratiquement, soit que les électrodes, fort minces, ne soient pas parallèles ou n'aient pas la surface requise, même à peu de chose près, soit que la distance de l'une à l'autre ne soit pas exactement d'un centimètre, le coefficient de cuve est rarement *10* comme on doit s'y attendre.

C'est à Kolrausch que nous devons la méthode de recherche du coefficient de cuve, c'est sur ses données que nous nous appuierons ; notons bien que le coefficient doit être recherché avec soin pour chaque nouvelle cuve et qu'il doit être surveillé à maintes reprises pour un même appareil (1).

Voici comment procède le physicien allemand : Après de multiples expériences il fut amené à prendre une cuve type, le cube contenu entre les électrodes étant vérifié par un artifice physique, il introduit dans l'appareil 50 centimètres cubes d'une solution à 0 gr. 5 °/₀₀ de chlorure de potassium, solution faite avec le plus grand soin (pesée précise, après dessiccation complète, etc.) ; il expérimente à 18° et s'arrête à la formule suivante :

$$\frac{a}{b} \times R \text{ (résist. boîte)} \times \text{(coefficient)} = 1.185$$

1. M. Diénert conseille même de répéter cette surveillance le plus souvent possible, avant chaque série d'expériences par exemple.

Cette formule, ce chiffre doivent être admis et constituer le point de départ de tout le calcul de coefficient de cuve ; pour obtenir ce coefficient, il faut mettre dans la cuve à examiner 50 centimètres cubes de la solution de chlorure de potassium à 0 gr. 5 °/₀₀ ; on porte la solution à 18° et on fait la lecture ; on peut tirer de la formule type de Kolrausch : $\frac{a}{b} \times R \times C = 1.185$ la valeur même de :

$$C = \frac{1185}{\frac{a}{b} R}$$

on conçoit, dès lors, toute la facilité du calcul du coefficient de cuve.

Il est évident que les lectures doivent être répétées à maintes reprises, en faisant varier la résistance R, avant d'arrêter un chiffre aussi définitif que le coefficient de cuve, qui donnera leur valeur à tous les résultats.

C'est, en effet, par ce coefficient qu'il faudra multiplier les résultats du calcul de la formule $\frac{a}{b} R$ pour avoir la résistivité de l'unité.

Le chiffre obtenu, grâce à ces différents calculs, représentera en ohms, la résistivité du liquide examiné : l'ohm étant comme nous le savons, l'unité de résistance électrique.

CHAPITRE III

Résistivité de quelques-unes des principales eaux minérales françaises

Les chiffres qui suivent semblent présenter de certaines garanties, puisque les eaux transportées qui ont permis de les obtenir ont une authenticité indiscutable. En effet, toutes nos expériences ont été pratiquées sur des échantillons expressément demandés par nous aux Sociétés fermières et aux Etablissements: toutes ces eaux présentent, par conséquent, de sérieuses garanties de puisage, d'embouteillage et de bouchage. Elles furent examinées aussi rapidement que possible après leur arrivée au laboratoire.

Pour chaque source analysée nous avons examiné trois ou quatre échantillons différents débouchés au moment même de l'expérimentation, et nous donnerons pour chacune d'elles, d'abord le chiffre de résistivité moyenne, ensuite les deux chiffres de résistivité « maxima » et « minima », trouvées au cours de nos expériences.

Les écarts en général peu importants, que nous avons notés entre ces deux chiffres extrêmes, nous paraissent dus aux manipulations que les différents échantil-

lons d'eau ont dû subir pour arriver jusqu'au laboratoire (embouteillage, bouchage, voyage, séjour en cave, etc., etc.).

Notons que ces écarts nous ont paru présenter plus d'importance dans l'examen des eaux contenant une forte proportion de gaz dissous, (certaines eaux bicarbonatées par exemple) et dans l'étude de certaines eaux sulfureuses facilement oxydables.

Pour l'exposé de nos résultats nous classerons les sources suivant leur composition chimique et dans chaque classe nous les placerons par ordre de résistivité croissante.

Avec la résistivité nous donnerons, autant que possible, pour chaque source, la minéralisation totale par litre et l'analyse chimique la plus sûre et la plus récente ; nous nous efforcerons dans ces analyses d'exposer la composition élémentaire, en *anions* et *cathions*, des corps contenus dans ces eaux, nous rappelant, en agissant ainsi, que c'est d'une façon toute arbitraire que ces *ions* sont groupés en sels (ion acide + ion base), dans les protocoles d'analyses d'eaux minérales.

Remarquons, toutefois, que ces *ions* ne sont pas tous dissociés dans l'eau qui les contient, que la tension de dissociation atomique varie suivant la nature des sels, et que le pouvoir électrolytique des *ions* n'est pas le même dans les sels différents ; ceci nous explique que deux eaux de minéralisation totale identique mais contenant des sels différents ou les mêmes sels suivant des propositions différentes n'aient pas la même résistivité électrique.

A. — CHLORURÉES SODIQUES

I. — Chlorurées sodiques simples

BALARUC (*Hérault*).

L'eau sourd à 48°.

Echantillons bouchés au liège.

Analyse de Béchamp et Gauthier, *1861*.

Minéralisation totale, 10 gr. 1687.

Composition élémentaire de l'eau de Balaruc par litre.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium	2 gr. 770	Chlore	4 gr. 9444
Potassium	0 gr. 0654	Brome	traces
Lithium	0 gr. 00118	Sulfurique	0 gr. 76694
Magnésium	0 gr. 2865	Carbonique	0 gr. 7542
Calcium	0 gr. 6269	Borique	0 gr. 008
Fer	0 gr. 0012	Silicique	0 gr. 0228
Cuivre	0 gr. 00033		

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *77 ohms 70*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : $74\omega 72$

Résistivité maxima : $78\omega 34$

BOURBON-LANCY (*Saône-et-Loire*) (Source du Lymbe).

L'eau sourd à 56°5.

Echantillons bouchés au liège.

Analyse de Willm *1891*.

Minéralisation totale, 1 gr. 8384.

Composition élémentaire par litre de l'eau de la source du Lymbe.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium . .	0 gr. 5279	Chlore . .	0 gr. 7792
Potassium .	0 gr. 01039	Brome . .	0 gr. 00598
Lithium . .	0 gr. 00023	Iode . . .	traces
		Sulfurique .	0 gr. 07696
Magnésium .	0 gr. 003962	Carbonique .	0 gr. 37428
Calcium . .	0 gr. 08072	Silicique . .	0 gr. 07
Fer. . . .	0 gr. 001257		

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *367ω78*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *360ω01*

Résistivité maxima : *379ω43*

BOURBON-LANCY (*Saône-et-Loire*) (Source Reine-Bourbon).

L'eau sourd à 52°5.

Echantillons bouchés au liège.

Analyse de Willm *1891*.

Minéralisation totale, 1 gr. 8258.

Composition élémentaire par litre de l'eau de la Source Reine-Bourbon.

Ions positifs		Ions négatifs	
	—		—
Sodium. .	0 gr. 5259	Chlore. . .	0 gr. 7791
Potassium .	0 gr. 03976	Brome. . .	0 gr. 005204
Lithium. .	traces	Iode	traces
Manganèse .	—	Sulfurique .	0 gr. 08875
Magnésium.	0 gr. 002629	Carbonique .	0 gr. 32565
Calcium. .	0 gr. 08284	Arsenic . .	0 gr. 0003341
Fer . . .	0 gr. 00077	Silicique . .	0 gr. 0686
		Borates . .	traces
		Azotates . .	—

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *418ω28*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *407ω92*

Résistivité maxima : *432ω53*.

BOURBON-L'ARCHAMBAULT (*Allier*) (Source Jonas).

L'eau sourd à 11°.

Echantillons bouchés au liège.

Analyse de Willm *1881*.

Minéralisation totale : 1 gr. 6368.

Composition élémentaire de l'eau de source de Jonas par litre.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium . .	0 gr. 04848	Chlore . . .	0 gr. 07482
Magnésium.	0 gr. 094463	Sulfurique. .	0 gr. 7564
Calcium. .	0 gr. 28049	Carbonique .	0 gr. 46639
Manganèse.	0 gr. 0006695	Phosphorique.	0 gr. 00003064
Fer . . .	0 gr. 00599	Silicique . .	0 gr. 0244

Cette eau nous a donné un résistivité moyenne de *617ω71*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *612ω53*.

Résistivité maxima : *642ω32*.

II. — Chlorurées sulfatées

LUXEUIL (*Haute-Saône*). (Source des Dames.)
L'eau sourd à 43°7 (d'ap. Willm).
Echantillons à fermeture métallique.
Analyse de Willm, *1880-1881.*
Minéralisation totale : 1 gr. 1552.

Composition élémentaire par litre de l'eau de la source des Dames.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium	0 gr. 3530455	Chlore	0 gr. 479214
Potassium	0 gr. 02699	Sulfurique	0 gr. 1079
Manganèse	0 gr. 001669	Carbonique	0 gr. 061185
Magnésium	0 gr. 0004	Arsénique	0 gr. 0004945
Calcium	0 gr. 03	Silicique	0 gr. 0864
Lithium	0 gr. 001021	Bore	*traces.*
Fer	0 gr. 001543	Fluor	—

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *558ω14.*

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *551ω67*
Résistivité maxima : *571ω09*

LUXEUIL (*Haute-Saône*). (Source du Grand-Bain.)

Cette source comprend deux griffons et est constituée par le mélange de la source du Réservoir et de la source des Etuves qui sourdent aux températures respectives de 51°5 et de 52°5.

Analyse faite par Willm en *1880-1881*.

Les échantillons examinés étaient fermés métalliquement.

Minéralisation totale du mélange : 1 gr. 1673.

Composition élémentaire par litre de la source du Grand-Bain.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium	0 gr. 3342	Chlore	0 gr. 4681
Potassium	0 gr. 04124	Brome	traces.
Lithium	0 gr. 0012	Iode	traces.
Magnésium	0 gr. 00094	Sulfurique	0 gr. 1045
Calcium	0 gr. 0281	Carbonique	0 gr. 0580
Fer	0 gr. 00105	Silicique	0 gr. 0924

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de $577_{\omega}57$.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : $562_{\omega}03$

Résistivité maxima : $589_{\omega}22$

Toutes les données qui précèdent sont le fruit d'expériences faites avant le mois de novembre 1911.

Or, en novembre 1911 le massif des Vosges est violemment ébranlé par des secousses sismiques; pensant, à juste titre, que les eaux « plutoniennes » de sa station pouvaient être quelque peu modifiées dans certaines de leurs propriétés par ces bouleversements profonds, M. le Directeur des Eaux de Luxeuil exerce immédiatement une surveillance spéciale sur ses sources.

Il ne constate d'anomalies qu'aux griffons de la source du Grand-Bain ; la température de l'eau s'est élevée de quelques dixièmes de degré centigrade.

M. le Directeur des Eaux de Luxeuil nous envoie, à ce moment, quelques échantillons d'eau de la source du Grand-Bain, nous en recherchons avec soin la résistivité et nous trouvons les chiffres suivants :

Résistivité moyenne : *602ω17*
Résistivité minima : *589ω22*
Résistivité maxima : *609ω94*

Si nous comparons ces derniers chiffres à ceux fournis par les expériences faites sur l'eau recueillie avant les accidents sismiques, nous constatons une augmentation de la résistivité dans l'eau actuelle ; nous avons le droit d'en induire que le nombre des « ions » dissociés dans l'eau du Grand-Bain a quelque peu diminué.

Cette constatation nous a semblé intéressante à noter, elle montre tout l'intérêt que pourrait présenter la surveillance fréquente des sources par la méthode de la résistivité électrique.

Nous sommes persuadé que si les Directeurs des Etablissements adoptaient le tour d'esprit méthodique

du Directeur des Eaux de Luxeuil, nous pourrions peu à peu percer à jour le grand problème de l'évolution de nos sources thermales.

Nous fûme amenés à reprendre ces expériences sur la source du Grand-Bain et voici dans quelles conditions :

Le 1er avril dernier, quelques journaux de Paris annonçaient qu'une nouvelle secousse sismique avait été ressentie, la veille même, dans le massif vosgien.

Immédiatement nous sollicitons à nouveau quelques échantillons de l'eau du Grand-Bain. En nous adressant ces nouveaux flacons on nous apprend que la secousse sismique relatée par les journaux parisiens n'avait été qu'un simple orage.

L'examen de la résistivité de l'eau du Grand-Bain perdait ainsi beaucoup de son intérêt, néanmoins nous la pratiquons et faisons les intéressantes constatations suivantes : tous nos résultats d'expériences s'échelonnent entre la résistivité minima de 564 *ohms* 62 et la résistivité maxima de 588 *ohms* 16.

La résistivité de l'eau du Grand-Bain était donc revenue le 3 avril 1912 à des chiffres voisins de ceux que nous donnait l'examen de l'eau puisée en septembre 1911.

Les variations notées à la suite des secousses sismiques de novembre 1911 n'avaient donc été que passagères.

Notons bien le fait que la source du Grand-Bain de Luxeuil est constituée par le mélange de la source du Réservoir et de la source des Étuves qui sourdent à des températures différentes ; on peut donc supposer que,

sans que la minéralisation de l'une ou l'autre de ces sources ait varié, le seul changement de la proportion de leur débit (une des sources voyant son débit augmenté ou diminué par suite du mouvement sismique) suffit à expliquer les variations de température et de résistivité que nous venons de signaler. Cette interprétation n'a que la valeur d'une opinion, les faits seuls sont à retenir : Ils démontrent que l'examen soigneux et répété de la résistivité électrique de l'eau du Grand-Bain de Luxeuil nous a permis de suivre les variations passagères que des secousses sismiques ont fait subir à cette source et de constater qu'actuellement la minéralisation de l'eau du Grand-Bain est redevenue ce qu'elle était avant novembre 1911.

III. — Chlorurées sulfurées

URIAGE (*Isère*).

L'eau sourd, au griffon, à 27°.

Echantillons bouchés au liège.

Analyse de Willm, *1888*.

Minéralisation totale, 9 gr. 7010.

Composition élémentaire par litre de l'eau d'Uriage.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium	2 gr. 9093327	Chlore	3 gr. 723
Potassium	0 gr. 06357	Brome	traces
Magnésium	0 gr. 100014	Iode	traces
Calcium	0 gr. 436	Sulfurique	2 gr. 349884
Lithium	0 gr. 0006456	Carbonique	0 gr. 4924037
Fer	0 gr. 0004823	Silicique	0 gr. 0354
		Arsenique	0 gr. 00026
		Phosphorique	traces

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de $98_{\omega}42$.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : 95ω83

Résistivité maxima : 99ω72

B. — SULFATÉES CALCIQUES

VITTEL (*Vosges*) (Source salée).
Echantillons bouchés au liège.
L'eau sourd à 11°6.
Analyse de Willm, *1879*.
Minéralisation totale, 2 gr. 7828.

Composition élémentaire par litre de la source salée.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium. . .	0 gr. 1899	Chlore. . .	0 gr. 0094
Potassium. .	0 gr. 00557	Sulfurique .	1 gr. 6606
Lithium	traces	Carbonique .	0 gr. 2835
Magnésium. .	0 gr. 1651	Silicique . .	0 gr. 03003
Calcium. . .	0 gr. 5455		
Fer	0 gr. 000241		
Aluminium. .	0 gr. 0014		

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *406ω63*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *397ω56*
Résistivité maxima : *411ω85*

MARTIGNY-LES-BAINS (*Vosges*) (Source Lithinée).

C'est une eau froide.

Echantillons bouchés au liège.

Analyse de Willm, *1879*.

Minéralisation totale, 2 gr. 3202.

Composition élémentaire par litre de la source Lithinée.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium	0 gr. 00764	Chlore	0 gr. 00527
Potassium	0 gr. 00319	Sulfurique	1 gr. 33982
Lithium	0 gr. 0000163	Carbonique	0 gr. 2468
Magnésium	0 gr. 059465	Silicique	0 gr. 027283
Calcium	0 gr. 47950		
Fer	0 gr. 000699		

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *472ω67*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *449ω36*

Résistivité maxima : *475ω26*

CONTREXÉVILLE (*Vosges*) (Source du Pavillon).
L'eau sourd froide à 11°5.
Echantillons bouchés au liège.
Analyse de Debray, *1864*.
Minéralisation totale, *2 gr. 304*.

Composition élémentaire par litre de la source du Pavillon.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium	0 gr. 01128	Chlore	0 gr. 0052
Potassium	0 gr. 00314	Sulfurique	1 gr. 3089
Lithium	0 gr. 0004117	Carbonique	0 gr. 3566
Magnésium	0 gr. 057199	Silicique	0 gr. 015
Calcium	0 gr. 621		
Fer	0 gr. 00337		

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *495ω98*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *489ω51*
Résistivité maxima : *520ω59*

SAINT-AMAND (*Nord*) (Source Vauban).

Echantillons à fermeture métallique.

Nous n'avons pas d'analyse de cette source ; elle est voisine, ce semble, comme composition chimique de l'autre source de la même station, la source de l'Evêque d'Arras.

La source Vauban nous a donné une résistivité moyenne de : *631ω96*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *611ω24*
Résistivité maxima : *652ω68*

SAINT-AMAND (*Nord* (Source de l'Evêque d'Arras).

Echantillons à fermeture métallique.

Analyse de Kuhlmann.

Minéralisation totale, 1 gr. 408.

Composition élémentaire par litre de la source de l'Evêque d'Arras.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium. . .	0 gr. 062149	Chlore . . .	0 gr. 06847
Potassium . .	traces	Sulfurique . .	0 gr. 8111
Magnésium. .	0 gr. 0739	Carbonique. .	0 gr. 24414
Calcium. . .	0 gr. 2653	Silicique. . .	0 gr. 028
Fer	traces		

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *643ω61*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *637ω14*
Résistivité maxima : *659ω15*

VITTEL (*Vosges*) (Grande-Source).

L'eau sourd froide à 11°2.

Echantillons bouchés au liège.

Analyse de Willm, *1879*.

Minéralisation totale, 1 gr. 3241.

Composition élémentaire par litre de la Grande-Source.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium. . .	0 gr. 00613	Chlore . . .	0 gr. 00382
Potassium. .	0 gr. 05338	Sulfurique . .	0 gr. 6179
Lithium . .	0 gr. 0000169	Carbonique .	0 gr. 3238
Magnésium .	0 gr. 005332	Silicique . .	0 gr. 0281
Calcium . .	0 gr. 2919		
Fer	0 gr. 0013		

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *725ω20*.

L'examen des divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres suivants :

Résistivité minima : *723ω90*

Résistivité maxima; *749ω80*

C. — SULFUREUSES

I. — Sulfurées sodiques

BAGNÈRES-DE-LUCHON (*Haute-Garonne*) (Source de la Grotte-Supérieure).

L'eau sourd à 59°.

Bonbonnes bouchées au liège.

Analyse de Willm, *1884-1885*.

Minéralisation totale, 0 gr. 3267.

Composition élémentaire par litre de l'eau de la Grotte-Supérieure.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium. . .	0 gr. 0914	Sulfure. . . .	0 gr. 0201
Potassium. .	0 gr. 0053	Hyposulfureux .	0 gr. 0032
Calcium . .	0 gr. 0076	Sulfurique . .	0 gr. 0379
Magnésium .	0 gr. 0007	Carbonique . .	0 gr. 0484
Cuivre . . .	traces	Chlore. . . .	0 gr. 0512
Lithium. . .	—	Silicique . . .	0 gr. 0762
Fer	0 gr. 0030	Bore, phosphore.	traces
		Iode, ammoniaque.	—

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *1607ω09*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *1588ω96*

Résistivité maxima : *1627ω81*

BAGNÈRES-DE-LUCHON (*Haute-Garonne*) (Source Pré, n° 1).

L'eau sourd à 62°.

Bonbonnes bouchées au liège.

Analyse de Willm, *1884-1885*.

Minéralisation totale, 0 gr. 3292.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau du Pré, n° 1.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium	0 gr. 0986	Sulfure	0 gr. 0309
Potassium	0 gr. 0074	Hyposulfureux	0 gr. 0032
Calcium	0 gr. 0043	Sulfurique	0 gr. 0117
Magnésium	traces	Carbonique	0 gr. 0600
Cuivre	traces	Chlore	0 gr. 0585
Lithium	traces	Silicique	0 gr. 0899
Fer	0 gr. 0010	Bore, phosphore	traces
		Iode, ammoniaque	traces

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *2.189ω84*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *2.166ω53*

Résistivité maxima : *2.214ω45*

BAGNÈRES-DE-LUCHON (*Haute-Garonne*) (Source Bordeu, n° 1).

L'eau sourd à 57°5.

Bonbonnes bouchées au liège.

Analyse de Willm, *1884-1885*.

Minéralisation totale 0 gr. 3426.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la source Bordeu, n° 1.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium	0 gr. 1044	Sulfure	0 gr. 0314
Potassium	0 gr. 1044	Hyposulfureux	non dosé
Calcium	0 gr. 0061	Sulfurique	0 gr. 0256
Magnésium	0 gr. 0007	Carbonique	0 gr. 0241
Cuivre	traces	Chlore	0 gr. 0560
Lithium	traces	Silicique	0 gr. 0920
Fer	0 gr. 0020	Bore, phosphore	traces
Aluminium	0 gr. 0003	Iode, ammoniaque	traces

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *2.229ω99*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *2.193ω73*

Résistivité maxima : *2.281ω79*

AMÉLIE-LES-BAINS (*Pyrénées-Orientales*) (Source Arago).

L'eau sourd à 60°5.

Echantillons bouchés au liège.

Analyse de Willm, *1887*.

Minéralisation totale, 0 gr. 3372.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la source Arago.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium. . .	0 gr. 0938259	Sulfure . .	0 gr. 007508
Potassium. .	0 gr. 006859	Hyposulfite.	0 gr. 001134
Calcium . .	0 gr. 00304	Sulfurique .	0 gr. 044342
Magnésium .	0 gr. 0002286	Chlore . .	0 gr. 02597
Fer	0 gr. 0008	Carbonique.	0 gr. 1309214
Lithium . .	traces	Silicique. .	0 gr. 07838
		Iode, bore .	traces
		Arsenic . .	traces

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *2.382ω80*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *2.362ω03*

Résistivité maxima : *2.393ω16*

AMÉLIE-LES-BAINS (*Pyrénées-Orientales*) (Source Pascalone).

L'eau sourd à 51°2.

Echantillons bouchés au liège.

Analyse de Willm, *1887*.

Minéralisation totale, 0 gr. 3324.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la source Pascalone.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium	0 gr. 0978	Sulfure	0 gr. 005908
Potassium	0 gr. 004797	Hyposulfite	0 gr. 00177
Calcium	0 gr. 00216	Sulfurique	0 gr. 047544
Magnésium	0 gr. 0002572	Chlore	0 gr. 02391
Fer	0 gr. 0006	Carbonique	0 gr. 0526228
Lithium	traces	Silicique	0 gr. 07646
		Iode, bore	traces
		Arsenic	—

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *2.451ω43*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *2.425ω53*

Résistivité maxima : *2.468ω27*

BAGNÈRES-DE-LUCHON (*Haute-Garonne*) (Source Reine).

L'eau sourd à 57°5.

Bonbonne bouchée au liège.

Analyse de Willm, *1884-1885*.

Minéralisation totale, 0 gr. 2994.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la source Reine.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium	0 gr. 0810	Sulfure	0 gr. 0223
Potassium	0 gr. 0036	Hyposulfureux	0 gr. 0040
Calcium	0 gr. 107	Sulfurique	0 gr. 0353
Magnésium	0 gr. 0015	Carbonique	0 gr. 0462
Cuivre	traces	Chlore	0 gr. 0469
Lithium	—	Silice	0 gr. 0670
Fer	0 gr. 0031	Iode, bore	traces
		Phosphore, ammoniaque	—

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *2.512ω30*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *2.501ω94*

Résistivité maxima : *2.527ω84*

BAGNÈRES-DE-LUCHON (*Haute-Garonne*) (Source Richard-Nouvelle).

L'eau sourd à 48°.

Bonbonne bouchée au liège.

Analyse de Willm, *1884-1885*.

Minéralisation totale, 0 gr. 2897.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la source Richard-Nouvelle.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium. . .	0 gr. 8722	Sulfure . . .	0 gr. 0199
Potassium . .	0 gr. 0056	Hyposulfureux .	0 gr. 0040
Calcium. . .	0 gr. 0140	Sulfurique . .	0 gr. 0384
Magnésium. .	0 gr. 0021	Carbonique . .	0 gr. 0449
Cuivre . . .	traces	Chlore . . .	0 gr. 0390
Lithium. . .	—	Silicique . . .	0 gr. 0650
Fer	0 gr. 0011	Bore, iode . .	traces
		Phosphore, ammoniaque.	—

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *2.626 ω26*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *2.593ω88*

Résistivité maxima : *2.646ω98*

A la fin de cette étude sur la classe des eaux sulfurées sodiques, il nous faut dire un mot de nos expériences sur les eaux de Bagnères-de-Luchon ; manifestement

ces eaux se transportent mal, leur résistivité change promptement lorsque les récipients qui les contiennent ont été débouchés quelques instants ; la résistivité varie rapidement sous l'influence du passage du courant électrique ; après maints tâtonnements nous sommes arrivés à réduire au minimum ces causes d'erreurs mais les quelques anomalies que l'on peut voir dans nos résultats en comparant les analyses de la source de la Grotte-Supérieure et de la source du Pré, n° 1 par exemple, nous prouvent bien que les expériences de résistivité, pour ces eaux peu stables, ne peuvent être faites, avec rigueur, qu'aux griffons mêmes.

Nous avons cependant noté ici les résultats de nos expériences, mais à simple titre d'indication.

II. — Sulfurées calciques

ENGHIEN-LES-BAINS (*Seine-et-Oise*) (Source des Roses).

Eau froide.

Echantillons bouchés au liège.

Analyse du Dr Réveil *1865*.

Minéralisation totale, 0 gr. 8790.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la source des Roses.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium	0 gr. 001555	Sulfure	0 gr. 01151
Potassium	0 gr. 005962	Sulfurique	0 gr. 3027254
Calcium	0 gr. 21078	Carbonique	0 gr. 406685
Magnésium	0 gr. 021854	Silicique	0 gr. 0483
Baryum	0 gr. 0001175	Bore	traces
Lithium	traces		
Fer	traces		
Aluminium	traces		

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *774ω41*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : $765_{\omega}34$

Résistivité maxima : *784ω77*

D. — BICARBONATÉES

I. — **Bicarbonatées simples**

α. — Bicarbonatées sodiques

LE BOULOU (*Pyrénées-Orientales*) (Source Clémentine).

L'eau sourd à 17°.

Echantillons bouchés au liège.

Au point de vue analytique, nous possédons, pour cette source Clémentine, deux analyses présentant l'une et l'autre de solides garanties, l'une faite par Béchamp en 1869, l'autre par Willm en 1883; les différences sont si grandes entre les chiffres de ces deux auteurs que nous nous contenterons de donner la minéralisation totale notée par chacun sans y joindre d'analyses complètes :

Minéralisation totale d'après Willm, 8 gr. 1938.

Minéralisation totale d'après Béchamp, 10 gr. 6687.

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *141ω15*.

L'examen des divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *128ω20*

Résistivité maxima : *147ω63*

LE BOULOU (*Pyrénées-Orientales*). (Source Saint-Martin).

L'eau sourd à 17°.

Echantillons bouchés au liège.

Vu les divergences entre les différents auteurs, nous nous contenterons, ici encore, de donner la minéralisation totale par litre :

Pour cette source, Béchamp nous donne : 9 gr. 375.

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *147ω63*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *139ω86*
Résistivité maxima : *148ω92*

Il est à remarquer que pour les sources du Boulou, surtout pour la source Clémentine, les résistivités extrêmes sont plus distantes que dans la plupart de nos expériences ; cet écart est dû à la forte proportion de gaz dissous dans les eaux du Boulou, gaz qui s'échappent plus ou moins rapidement suivant les échantillons.

VICHY (*Allier*) (Source de la Grande-Grille).
L'eau sourd à 41°8,
Echantillons bouchés au liège.
Analyse de Willm, *1881*.
Minéralisation totale, 6 gr. 7038.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la Grande-Grille.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium. . .	1 gr. 84221	Carbonique .	5 gr. 652779
Potassium. .	0 gr. 1316	Chlore. . .	0 gr. 3481
Calcium . .	0 gr. 1012	Sulfurique .	0 gr. 1889
Magnésium .	0 gr. 0138	Phosphore .	0 gr. 001873
Lithium . .	0 gr. 001956	Arsenique .	0 gr. 0005346
Fer	0 gr. 00135	Silicique . .	0 gr. 0652
Strontium . .	traces	Borique . .	traces
Rubidium . .	—	Iode. . . .	—

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de $172_{\omega}23$.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : $165_{\omega}76$
Résistivité maxima : $173_{\omega}53$

LE BOULOU (*Pyrénées-Orientales*) (Source du Boulou).

L'eau sourd à 17°5.

Echantillons bouchés au liège.

Comme pour les autres sources du Boulou les divergences entre les analyses sont si grandes que nous nous contenterons de noter ici la minéralisation totale par litre donnée par Béchamp : 9 gr. 2097, et celle donnée par Willm : 6 gr. 4315.

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *180ω*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *168ω35*
Résistivité maxima : *183ω89*

VICHY (*Allier*) (Source de l'Hôpital).

L'eau sourd à 34°.

Echantillons bouchés au liège.

Analyse de Willm, *1881*.

Minéralisation totale, 6 gr. 9490.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la Source de l'Hôpital.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium. . .	1 gr. 838889	Carbonique .	5 gr. 11706
Potassium. .	0 gr. 1658	Chlorure . .	0 gr. 3444
Calcium . .	0 gr. 1512	Sulfurique .	0 gr. 1808
Magnésium .	0 gr. 01491	Phosphore .	traces
Lithium . .	0 gr. 002336	Arsénique. .	0 gr. 0008019
Fer. . . .	0 gr. 00135	Silicique . .	0 gr. 0620
Strontium. .	traces	Borique . .	traces
Rubidium. .	—	Iode. . . .	—

Cette eau nous a donné une résistance moyenne de *190ω36*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *189ω07*

Résistivité maxima : *191ω66*

VICHY (*Allier*) (Sources des Célestins)

L'eau sourd à 16°3-16°4.

Échantillons bouchés au liège.

Voici d'après l'analyse faite en mars 1908 par Meillière et Hanriot la composition élémentaire de l'eau de Vichy-Célestins telle qu'on la donne aux malades.

Cette eau semble être un mélange des trois sources Célestins, sources de compositions fort voisines puisque leurs minéralisations totales varient entre 6 gr. 3952 et 6 gr. 5242.

Ions positifs		Ions négatifs	
Calcium	0 gr. 1481	Carbonique	1 gr. 6800
Magnésium	0 gr. 0080	Sulfurique	0 gr. 1634
Sodium	1 gr. 2935	Chlore	0 gr. 2565
Potassium	0 gr. 0897	Silicique	0 gr. 03704
Lithium	0 gr. 0030	Arsénique	0 gr. 00026
Sesquioxydes	0 gr. 0174	Iode	traces
Rubidium	traces	Brome	traces
Strontium	traces		

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *264ω18*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *259ω*

Résistivité maxima : *269ω36*

VALS (*Ardèche*).

Nous avons examiné les sources « Précieuse » et « Saint-Jean-Marie » mais nous ne possédons d'analyse ni de l'une ni de l'autre.

Ces eaux nous sont parvenues en bouteilles bouchées au liège ; l'expérimentation nous a donné les chiffres suivants :

Source Précieuse.

Cette eau nous a accusé une résistivité moyenne de *274ω54*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres suivants :

Résistivité minima : *262ω88*
Résistivité maxima : *286ω19*

Source Saint-Jean-Marie.

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *527ω06*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *507ω64*
Résistivité maxima : *540ω01*

β. — *Bicarbonatées sodico-calciques*

LAMALOU (*Hérault*) (Source Usclade).

L'eau sourd à 48°.

Nous n'avons pas d'analyse de cette source, aussi nous contenterons-nous de donner ici les résultats de nos expériences :

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *481ω74*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *457ω13*
Résistivité maxima : *493ω39*

II. — Bicarbonatées chlorurées.

ROYAT (*Puy-de-Dôme*) (Source Saint-Mart).

L'eau sourd à 29°5.

Echantillons bouchés au liège.

Analyse de Willm *1878*.

Minéralisation totale, 4 gr. 3538.

Composition élémentaire par litre de l'eau de la source Saint-Mart.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium	0 gr. 9615086	Chlore	0 gr. 9667
Potassium	0 gr. 08467	Sulfurique	0 gr. 1002
Calcium	0 gr. 2473	Carbonique	1 gr. 134439
Magnésium	0 gr. 1245	Arsénique	0 gr. 0006014
Fer	0 gr. 0068	Silicique	0 gr. 0958
Lithium	0 gr. 002356	Iode	traces
Aluminium	0 gr. 0027	Borique	—

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *207ω20*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *195ω54*

Résistivité maxima : *209ω79*

ROYAT (*Puy-de-Dôme*) (Source Saint-Victor).
L'eau sourd à 20°3.
Echantillons bouchés au liège.
Analyse de Willm *1878*.
Minéralisation totale, 4 g. 5411.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la source Saint-Victor.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium. . .	0 gr. 9943972	Chlore. . .	0 gr. 9994
Potassium. .	0 gr. 08467	Sulfurique. .	0 gr. 1089
Calcium . .	0 gr. 2830	Carbonique .	1 gr. 22453
Magnésium .	0 gr. 1291	Arsénique .	0 gr. 001162
Fer	0 gr. 02025	Silicique . .	0 gr. 1050
Lithium . .	0 gr. 002532	Borique . .	traces
Aluminium .	traces	Iode . . .	—

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de : *214ω97*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *212ω38*
Résistivité maxima : *221ω44*

ROYAT (*Puy-de-Dôme*) (Source Eugénie).
L'eau sourd à 34°2 (Willm).
Echantillons bouchés au liège.
Analyse de Willm, *1878*.
Minéralisation totale, 4 gr. 6980.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la source Eugénie.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium. . .	1 gr. 0310978	Chlore . .	1 gr. 1016
Potassium. .	0 gr. 07723	Sulfurique .	0 gr. 1111
Calcium . .	0 gr. 3106	Carbonique.	1 gr. 23502
Magnésium .	0 gr. 09991	Arsénique .	0 gr. 0002322
Fer	0 gr. 02498	Silicique .	0 gr. 1026
Lithium . .	0 gr. 003306	Borique .	traces
Aluminium. .	traces	Iode. . .	—

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *233 ω 10*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *222 ω 74*
Résistivité maxima : *239 ω 57*

ROYAT (*Puy-de-Dôme*) (Source César).
L'eau sourd à 28°5 (Willm).
Echantillons bouchés au liège.
Analyse de Willm, *1878*.
Minéralisation totale, 2 gr. 4279.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la source César.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium. . .	0 gr. 432029	Chlore. . .	0 gr. 3961
Potassium. .	0 gr. 05340	Sulfurique .	0 gr. 06037
Calcium . .	0 gr. 1816	Carbonique .	0 gr. 71315
Magnésium .	0 gr. 07314	Arsénique .	0 gr. 000401
Fer	0 gr. 01640	Silicique . .	0 gr. 0815
Lithium . .	0 gr. 001966	Borique . .	traces
Aluminium .	traces	Iode. . . .	—

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *372 ω 96*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *366 ω 48*
Résistivité maxima : *384 ω 61*

En considérant d'une part les résistivités des 3 sources de Royat (Saint-Mart, Saint-Victor, Eugénie) et en examinant d'autre part les minéralisations de ces sources, on est surpris de voir qu'à la plus forte minéralisation correspond la plus grosse résistance, qu'il y a proportionnalité directe entre les minéralisations et les résistances ; constatons que les écarts sont minimes entre ces diverses données. Ce fait semble nous prouver toute l'influence des gaz dissous, des ordonnancements atomiques, de l'ionisation sur la résistivité d'une solution saline.

MONT-DORE (*Puy-de-Dôme*) (Source Bardon ou des Chanteurs).

Nous n'avons pas d'analyse de cette source. Aussi ne donnerons-nous ici que les résultats de notre expérimentation.

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *542 ω 60*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *537 ω 42*
Résistivité maxima : *552 ω 96*

MONT-DORE (*Puy-de-Dôme*) (Source Madeleine).
L'eau sourd à 45°.
Echantillons bouchés au liège.
Analyse de Willm, *1891*.
Minéralisation totale, 1 gr. 8351.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la source Madeleine.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium. . .	0 gr. 3415112	Chlore. . .	0 gr. 2243
Potassium. .	0 gr. 04635	Sulfurique .	0 gr. 03982
Calcium . .	0 gr. 08736	Carbonique .	1 gr. 2176762
Magnésium .	0 gr. 03511	Arsénique .	0 gr. 0006682
Manganèse. .	0 gr. 0006218	Silicique . .	0 gr. 1774
Fer	0 gr. 006174	Bore, iode .	traces
Lithium. . .	0 gr. 000453	Phosphore .	—

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *551ω67*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné des chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *544ω79*
Résistivité maxima : *559ω44*

MONT-DORE (*Puy-de-Dôme*) (Source César).

L'eau sourd à 43°.

Echantillons bouchés au liège.

Analyse de Willm, *1891*.

Minéralisation totale, 1 gr. 7270.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la source César.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium. . .	0 gr. 3191812	Chlore. . .	0 gr. 2107
Potassium. . .	0 gr. 04635	Sulfurique .	0 gr. 03765
Calcium . . .	0 gr. 08172	Carbonique .	1 gr. 140582
Magnésium .	0 gr. 03257	Arsénique .	0 gr. 0006682
Manganèse. .	0 gr. 001097	Silicique. .	0 gr. 1796
Fer	0 gr. 005595	Bore, iode .	traces
Lithium. . . .	0 gr. 0004838	Phosphore .	—

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *574ω98*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *572ω39*

Résistivité maxima : *580ω16*

Notre ami M. le Dr Galup, du Mont-Dore en considérant les chiffres donnés par les sources de sa station nous a suggéré l'idée de rechercher si, dans une même station la digestibilité des eaux n'était pas en raison directe de leur résistivité.

Il nous a fait remarquer qu'en ce qui concernait le Mont-Dore il en était ainsi.

Un ancien médecin de la station, le Dr Emond, avait constaté que l'eau de la source César était la plus digestible de toutes et pouvait être administrée à des doses plus considérables que les autres (4 à 5 verres par jour au lieu de 2 ou 3) (Emond. *Revue médicale du Mont-Dore*, avril 1905).

Quant à la source des Chanteurs, elle est généralement considérée, par les médecins de la station comme un peu moins digestible que la source Madeleine et, partant, moins utilisée surtout pour une première cure ; on attribuait cette propriété à sa température plus élevée.

Or, la résistivité électrique de ces diverses sources sont respectivement :

Source César :	*574ω98*
Source Madeleine :	*551ω67*
Source des Chanteurs :	*542ω60*

Il y a là une coïncidence qu'il serait intéressant de vérifier dans d'autres stations.

III. — **Bicarbonatées sulfatées.**

CHATELGUYON (*Puy-de-Dôme*) (Source Gubler).

L'eau sourd à 30° environ.

Echantillons bouchés au liège. Il convient de noter que tous les bouchons paraissaient quelque peu attaqués par l'eau.

Analyse de Willm, *1879*.

Minéralisation totale, 6 gr. 9049.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la source Gubler.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium. . .	0 gr. 9041	Chlore. . .	2 gr. 251813
Potassium . .	0 gr. 09911	Sulfurique. .	0 gr. 3558
Calcium. . .	0 gr. 6820	Carbonique .	3 gr. 10145
Magnésium .	0 gr. 3987	Arsénique . .	0 gr. 001203
Fer	0 gr. 0153071	Silicique . .	0 gr. 1110
Lithium. . .	0 gr. 002405		

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *135ω97*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *133ω38*

Résistivité maxima : *148ω92*

E. — EAUX DIVERSES

I. — Oligométalliques

NÉRIS (*Allier*).

L'eau sourd à 50° environ.

Echantillons bouchés au liège.

Analyse de Willm, *1891*.

Minéralisation totale, 1 gr. 3078.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de Néris.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium. . .	0 gr. 3275	Chlore. . .	0 gr. 1102
Potassium. .	0 gr. 02071	Sulfurique .	0 gr. 273729
Calcium . .	0 gr. 03892	Carbonique .	0 gr. 605325
Magnésium .	0 gr. 002629	Bore	traces
Fer. . . .	0 gr. 000627	Iode . . .	—
Lithium . .	0 gr. 0001019		

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *703ω18*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *700ω59*

Résistivité maxima : *710ω95*

LUXEUIL (*Haute-Saône*) (Source Hygie).

L'eau sourd à 30°5.

Echantillons à bouchage métallique.

Analyse de Willm, *1880*.

Minéralisation totale, 0 gr. 3751.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la Source Hygie.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium. . .	0 gr. 09971445	Chlore. . .	0 gr. 137831
Potassium. .	0 gr. 00933	Sulfurique .	0 gr. 03265
Calcium . .	0 gr. 01772	Carbonique .	0 gr. 0361086
Magnésium .	0 gr. 002142	Arsénique. .	0 gr. 0001336
Fer. . . .	0 gr. 0003376	Bore, fluor .	traces
Manganèse .	0 gr. 0003348	Silicique . .	0 gr. 0313
Lithium . .	0 gr. 0003129		

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *1.687ω38*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *1.669ω25*

Résistivité maxima : *1.715ω87*

LA BOURBOULE (*Puy-de-Dôme*)(Source Fenestre).

On trouve à la Bourboule deux sources Fenestre assez différentes dans leur composition ; ignorant si nos échantillons proviennent de la source n° 1 ou de la source n° 2, ou d'un mélange des deux, nous nous abstiendrons de donner, ici, une analyse et nous nous contenterons de noter les résultats de nos expériences.

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *1.929ω55*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *1.925ω66*
Résistivité maxima : *1.938ω61*

ÉVIAN (*Haute-Savoie*) (Source Cachat).

L'eau sourd, froide.

Echantillons à fermeture métallique.

Analyse de Willm, *1889*.

Minéralisation totale, 0 gr. 3172.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la source Cachat.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium . .	0 gr. 0064275	Chlore . . .	0 gr. 00182
Potassium .	0 gr. 002331	Sulfurique . .	0 gr. 008210
Calcium . .	0 gr. 0787096	Carbonique .	0 gr. 17905
Magnésium .	0 gr. 02332	Azotique . .	0 gr. 002115
Fer . . .	0 gr. 0003754	Silicique . .	0 gr. 0142
		Phosphorique.	0 gr. 0009149

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *2101ω78*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants.

Résistivité minima : *2095ω31*

Résistivité maxima : *2109ω55*

THONON-LES-BAINS (*Haute-Savoie*) (Source Saint-François).

L'eau sourd, froide.

Echantillons à fermeture métallique.

Analyse de Bouis, *1864*.

Minéralisation totale, 0 gr. 535.

Pour rendre possible la comparaison avec la minéralisation de la source Cachat d'Evian, notons qu'ici on a exprimé les carbonates en bicarbonates, fait qui suffit à lui seul pour expliquer la différence entre les chiffres de minéralisation totale des deux sources.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la source Saint-François.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium	0 gr. 008621	Chlore	0 gr. 004855
Calcium	0 gr. 09996	Sulfurique	0 gr. 06212
Magnésium	0 gr. 04343	Carbonique	0 gr. 30868
Fer	0 gr. 009	Phosphorique	0 gr. 009
		Silicique	0 gr. 010
		Azotique	traces

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *2101ω78*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *2095ω31*

Résistivité maxima : *2109ω55*

PLOMBIÈRES (*Vosges*) (Bains des Dames).

L'eau sourd à 52°5.

Echantillons bouchés au liège.

Analyse de Willm, *1880*.

Minéralisation totale, 0 gr. 2741.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau, de la source des Dames.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium	0 gr. 16910903	Chlore	0 gr. 006008
Potassium	0 gr. 003418	Sulfurique	0 gr. 066156
Calcium	0 gr. 00884	Carbonique	0 gr. 0404399
Magnésium	0 gr. 001086	Silicique	0 gr. 0518
Fer	0 gr. 0004341	Arsénique	0 gr. 0001670
Lithium	traces	Azotique	0 gr. 002625
		Fluor	traces
		Bore	traces

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *3016ω05*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *2991ω45*

Résistivité maxima : *3039ω36*

BAGNOLES-DE-L'ORNE (Grande-Source).

L'eau sourd à 27°.

Echantillons à fermeture métallique.

Analyse de l'Ecole des Mines, *1896*.

Minéralisation totale, 0 gr.0754.

Composition élémentaire, par litre, de la Grande-Source.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium	0 gr. 010594	Chlore	0 gr. 009952
Potassium	0 gr. 002242	Sulfurique	0 gr. 016633
Calcium	0 gr. 0036194	Carbonique	0 gr. 007954
Magnésium	0 gr. 00072	Silicique	0 gr. 0735
Lithium	traces	Phosphorique	0 gr. 0005516
Fer	0 gr. 001061	Arsénique	traces

Cette eau nous donné une résistivité moyenne de *1.5775ω69*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *1.5762ω70*

Résistivité maxima : *1.5929ω79*

II. — Arsenicales

LA BOURBOULE (*Puy-de-Dôme*) (Source Croizat).
Analyse de l'Ecole des Mines, *Juin 1908*.

Acide carbonique libre. . . .	0 gr. 6812
Acide carb. des bicarbonates .	1 gr. 8170
Acide chlorhydrique	3 gr. 5167
Acide sulfurique.	0 gr. 2315
Acide arsénique	0 gr. 0095
Silice.	0 gr. 1098
Protoxyde de fer.	traces très sensibles
Chaux	0 gr. 2470
Magnésie	0 gr. 0587
Lithine	0 gr. 0055
Potasse	0 gr. 1952
Soude	3 gr. 9520
Ammoniaque	traces sensibles
Matières organiques.	traces

Minéralisation totale, moins acide carbonique libre, 9 gr. 8516.

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *102ω30*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *99ω71*
Résistivité maxima ; *104ω89*

LA BOURBOULE (*Puy-de-Dôme*) (Source Choussy).

L'eau sourd à 56°.

Echantillons bouchés au liège.

Analyse de Willm, *1879*.

Minéralisation totale, 5 gr. 6479.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la source Choussy.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium. . .	1 gr. 827366	Chlore. . .	1 gr. 922
Potassium. .	0 gr. 09688	Sulfurique .	0 gr. 1400
Calcium . .	0 gr. 04272	Carbonique .	0 gr. 83647
Magnésium .	0 gr. 01080	Arsénique. .	0 gr. 01003
Fer	0 gr. 00246	Silicique . .	0 gr. 1052
Manganèse. .	traces	Bore . . .	traces
Lithium. . .	0 gr. 002172	Iode . . .	traces

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *150ω22*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *143ω74*

Résistivité maxima : *156ω69*

III. — Ferrugineuses

BUSSANG (*Vosges*) (Source Salmade).
L'eau sourd froide.
Echantillons à fermeture métallique.
Analyse de Willm, *1879*.
Minéralisation totale, 1 gr. 5481.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la source Salmade.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium	0 gr. 34819	Chlore	0 gr. 05073
Potassium	0 gr. 03322	Sulfurique	0 gr. 13371
Calcium	0 gr. 1519	Carbonique	1 gr. 014869
Magnésium	0 gr. 0506	Arsénique	0 gr. 0008019
Manganèse	0 gr. 001435	Phosphorique	traces
Fer	0 gr. 0045461	Bore	—
Lithium	0 gr. 0006279	Fluor	—
Aluminium	0 gr. 0012		

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *490ω80*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : $472_{\omega}67$
Résistivité maxima : $512_{\omega}82$

FORGES-LES-EAUX (*Seine-Inférieure*) (Source Reinette).

L'eau sourd froide.

Echantillons bouchés au liège.

Analyse de l'Ecole des Mines, *1879*.

Minéralisation totale, 0 gr. 2114.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de la source Reinette.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium. . .	0 gr. 014304	Chlore. . . .	0 gr. 01238
Potassium . .	0 gr. 001569	Sulfurique .	0 gr. 008354
Calcium. . .	0 gr. 04552	Carbonique .	0 gr. 093835
Magnésium. .	0 gr. 009144	Silicique. .	0 gr. 018156
Fer	0 gr. 004244		

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de *3.773ω63*.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : *3.743ω84*

Résistivité maxima : *3.791ω76*

Bassin de Bourbon-l'Archambault.

SAINT-PARDOUX (*Allier*).

L'eau sourd froide.

Echantillons bouchés au liège.

Nous n'avons pour cette source qu'une *analyse* sans nom d'auteur.

Minéralisation totale, 0 gr. 1908.

Composition élémentaire, par litre, de l'eau de Saint-Pardoux.

Ions positifs		Ions négatifs	
Sodium.	0 gr. 018308	Chlore.	0 gr. 008314
Calcium	0 gr. 01593	Sulfurique	0 gr. 01555
Magnésium	0 gr. 01350	Carbonique	0 gr. 089032
Manganèse.	0 gr. 003604	Silicique	0 gr. 03534
Fer	0 gr. 003649		

Cette eau nous a donné une résistivité moyenne de $5.446_{\omega}77$.

L'examen de divers échantillons de la même eau nous a donné les chiffres extrêmes suivants :

Résistivité minima : $5.282_{\omega}30$

Résistivité maxima : $5.590_{\omega}51$

Il faut attribuer les différences relativement grandes de résistivité entre les échantillons examinés, à la forte proportion de gaz dissous (acide carbonique en particulier) dans l'eau de Saint-Pardoux.

Nous avons dû renoncer à l'idée de chasser par ébullition ces gaz contenus dans les eaux bicarbonatées pour ne pas modifier la texture ionique de nos eaux.

CLASSIFICATION DES EAUX MINÉRALES ÉTUDIÉES PAR ORDRE DE RÉSISTIVITÉ CROISSANTE

A. — CHLORURÉES SODIQUES

I. — Chlorurées sodiques simples

Balaruc	77ω70	74ω72 à 78ω34
Bourbon-Lancy (Lymbe)	367ω78	360ω01 à 379ω43
Bourbon-Lancy (Reine Bourbon)	418ω28	407ω92 à 432ω53
Bourbon-l'Archambault (Jonas)	617ω71	612ω53 à 642ω32

II. — Chlorurées sulfatées

Luxeuil (S. des Dames)	558ω14	551ω67 à 571ω09
Luxeuil (Gd-Bain).		
Avant secousse		
Sismique de nov. 1911	577ω57	562ω03 à 589ω22
Après secousse		
Sismique (15 nov. 1911)	602ω17	589ω22 à 609ω94
En avril 1912		564ω62 à 588ω16

III. — Chlorurées sulfurées

Uriage	98ω42	95ω83 à 99ω72

B. — SULFATEES CALCIQUES

Vittel (S. Salée).	406ω63	397ω56 à	411ω85
Martigny (Lithinée)	472ω67	449ω36 à	475ω26
Contrexéville (Pavillon) . . .	495ω98	489ω51 à	520ω59
Saint-Amand (S. Vauban) . .	631ω96	611ω24 à	652ω68
Saint-Amand (Ev. d'Arras) . .	643ω61	637ω14 à	659ω15
Vittel (Gde-Source)	725ω20	723ω90 à	749ω80

C. — SULFUREUSES

I. — **Sulfurées sodiques**

Luchon (Grotte Sup.). . . .	1.607ω09	1.588ω96 à	1.627ω81
Luchon (Pré nº 1).	2.189ω84	2.166ω53 à	2.214ω45
Luchon (Bordeu)	2.229ω99	2.193ω99 à	2.281ω79
Amélie (S. Arago)	2.382ω80	2.362ω03 à	2.393ω16
Amélie (S. Pascalone). . . .	2.451ω43	2.425ω53 à	2.468ω27
Luchon (S. Reine).	2.512ω30	2.501ω94 à	2.527ω84
Luchon (Richard-Nouvelle). .	2.626ω26	2.593ω88 à	2.646ω98

II. — **Sulfurées calciques**

Enghien (S. des Roses) . . .	774ω41	765ω34 à	784ω77

D. — BICARBONATÉES

I. — **Bicarbonatées simples**

a) Bicarbonatées sodiques.

Le Boulou (S. Clémentine).	141ω15	128ω20 à	147ω63
Le Boulou (St-Martin) . .	147ω63	139ω86 à	148ω92
Vichy (Gde-Grille) . . .	172ω23	165ω76 à	173ω35

Le Boulou (S. du Boulou) .	180ω	168ω35 à	183ω89
Vichy (Hôpital)	190ω36	189ω07 à	191ω66
Vichy (Célestins)	264ω18	259ω à	269ω36
Vals (Précieuse)	274ω54	262ω88 à	286ω19
Vals (St-Jean-Marie) . .	527ω06	507ω64 à	540ω01
b) Bicarbonatées sodico-calciques.			
Lamalou (S. Usclade) . .	481ω74	457ω13 à	493ω39

II. — Bicarbonatées chlorurées

Royat (St-Mart)	207ω20	195ω54 à	209ω79
Royat (St-Victor)	214ω97	212ω38 à	221ω44
Royat (Eugénie)	233ω10	222ω74 à	239ω57
Royat (César)	372ω96	366ω48 à	384ω61
Mont-Dore (S. des Chanteurs)	542ω60	537ω42 à	552ω96
Mont-Dore (S. Madeleine) .	551ω67	544ω77 à	559ω44
Mont-Dore (S. César) . .	574ω98	572ω39 à	580ω16

III. — Bicarbonatées sulfatées

Chatelguyon (S. Gubler) .	135ω97	133ω38 à	148ω92

E. — EAUX DIVERSES

I. — Oligométalliques

Néris	703ω18	700ω59 à	710ω95
Luxeuil (Hygie)	1.687ω38	1.669ω25 à	1.715ω25
La Bourboule (S. Fenestre).	1.929ω55	1.925ω66 à	1.938ω61
Evian (Cachat)	2.101ω78	2.095ω31 à	2.109ω55

Thonon (St-François) . .	2.101ω78	2.095ω31 à	2.109ω55
Plombières (S. des Dames).	3.016ω05	2.991ω45 à	3.039ω36
Bagnoles-de-l'Orne . . .	15.775ω69	15.762ω70 à	15.929ω79

II. — **Arsénicales**

La Bourboule (S. Croizat).	102ω30	99ω71 à	104ω89
La Bourboule (S. Choussy).	150ω22	143ω74 à	156ω69

III. — **Ferrugineuses**

Bussang (S. Salmade) . .	490ω80	472ω67 à	512ω82
Forges-les-Eaux (S. Reinette)	3.773ω63	3.743ω84 à	3.791ω76
Saint-Pardoux	5.446ω77	5.282ω30 à	5.590ω51

CONCLUSIONS

Les pages qui précèdent ne sont guère que l'exposé d'une méthode d'analyse, avec la description des expériences et quelques conseils permettant d'en interpréter les résultats.

Les chiffres qui suivent la partie théorique de cette thèse, sont bien peu nombreux si l'on considère toutes les richesses hydrominérales que la France peut fournir à l'expérimentation.

A vrai dire dans ce modeste travail il n'y a qu'une ébauche ; des analyses nombreuses restent à faire, auxquelles nous nous consacrerons par la suite, encouragé par le réel intérêt que nous semblent présenter les chiffres que l'on a pu voir plus haut.

Comme nous l'avons dit à maintes reprises dans le cours de ces quelques pages, cette méthode simple et fidèle nous paraît présenter un grand intérêt au point de vue de la surveillance des eaux minérales ; installé dans les stations hydrominérales, le dispositif expérimental pour la recherche de la résistivité permettrait de vérifier souvent et rapidement les eaux à la sortie même des griffons ; cette façon de faire serait surtout intéressante pour les eaux n'ayant pas une origine profonde, pour les eaux de lixiviation, les eaux « neptuniennes » néces-

sairement variables ; un intérêt thérapeutique s'attacherait à l'étude de ces variations, le médecin hydrologue pourrait parfois en conclure à des modifications dans son traitement.

Dans les grands centres, l'installation de ce procédé rapide d'analyse semblerait avoir un grand intérêt pour la répression des fraudes s'exerçant sur les eaux minérales embouteillées, fraudes difficiles et coûteuses à dépister chimiquement, fraudes peu surveillées jusqu'ici mais dont, cependant, la recherche active aurait, certes, une grande importance pour les malades soumis au régime des eaux minérales transportées.

En un mot nous n'hésitons pas à penser que la surveillance des eaux minérales par l'examen de la résistivité électrique, procédé que M. Diénert applique à la surveillance des eaux de la ville de Paris peut présenter un réel intérêt pour la thérapeutique hydrominérale, en permettant de surveiller facilement les eaux tant au griffon même pour dépister rapidement une variation dans la minéralisation, qu'au laboratoire de répression des fraudes où elles permettrait de déceler facilement dans des eaux transportées une malhonnêteté pouvant présenter des inconvénients pour la santé publique et pouvant nuire à la réputation d'une source.

Vu : le Président de la thèse,
CHANTEMESSE

Vu : le Doyen,
LANDOUZY

Vu et permis d'imprimer :
Le Vice-Recteur de l'Académie
L. LIARD

BIBLIOGRAPHIE

Lévy (Albert) et Henriet (H.). — Note sur la mesure de la résistance spécifique des eaux au moyen de la méthode de Kolrausch. In Annales de l'Observatoire (Observatoire de Montsouris), tome V, année 1904.

Bardet. — Notions d'hydrologie moderne, Paris, Doin, 1909.

— Théorie de l'ionisation des électrolytes dans les eaux minérales. Bull. gén. thérap., Paris, 1909.

Chanoz et Doyon. — Conductibilité électrique de quelques eaux minérales. Journal de physiol. et de pathol. génér., 1903, p. 519.

Chassevant (A.). — Contrôle et surveillance des eaux minérales au moyen de la réfractométrie et de la mesure de la résistivité électrique. (Soc. d'hydrologie médicale de Paris, séance du 19 février 1912).

— Hydrologie élémentaire à l'usage des médecins. (Vigot. Paris).

Debauve et Imbeaux. — Distributions d'eau (tome I) (Vve Ch. Dunod. Paris).

Diénert. — Mesure de la conductibilité électrique d'une eau in l'Hygiène générale et appliquée, *juin 1908*.

Dongier et Lesage.— Mesure de la résistance électrique des électrolytes au moyen des courants alternatifs. Applications médicales. (Bull. Soc. philomatique, 1905).

Duclaux. — Conductibilité électrique. Thèse de Paris. Faculté des Sciences, 1904.

Duhourcau. — Etude des eaux au point de vue physique (Résistance électrique). Ann. Hydrologie, 1900.

Dutoit. — Sur la volumétrie physico-chimique. Conférence faite devant la Société chimique de France le 12 mars 1910 (in Bulletin de la Société chimique de France du 5 juin 1910).

Francina. — Contribution à l'étude physique des eaux minérales. Thèse, Paris, 1906.

M. Frenkel. — Analyse de la source du Prieuré à Saint-Christau (Travail lu à la Société d'Hydrologie le 21 novembre 1898).

Roger Glénard. — Sur les propriétés physico-chimiques des eaux de Vichy (Pouvoir catalytique). Thèse, Paris, 1911.

Guillerd. — Emploi de la conductibilité électrique dans la surveillance des eaux de sources (Revue d'Hygiène, 20 nov. 1904).

Jacquot et Willm. — Eaux minérales de la France. Baudry et Cie, Paris.

Koeppe. — Die physikalische Chemische analyse der Mineralwasser, 1897, et Hygienische Rundschau, 1899.

Lehnert. — Uber die Anwendbarkeit der electrischen Leitfüligkeit bei der Wasseruntersuchung (Erlangen, 1897).

Muller. — Sur les variations de composition des eaux minérales et des eaux de sources, décelées à l'aide de la conductibilité électrique. C. R. A. S., 29 avril 1901.

Négréano. — Résistivité des eaux minérales. C. R. A. S., juil. 1906.

Ostwald. — Chimie générale.

Pleissner. — In Apotheker Zeitung (juin 1901). In Pharm. Centralhalle (mars 1902).

Viallier-Raynard. — Contribution à l'étude de quelques propriétés physiques des eaux minérales et de l'eau du Rhône. Thèse, Lyon, 1904.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Introduction.	11
Chapitre premier. — Principes de la méthode d'analyse. .	15
Chapitre II. — Instrumentation et conditions des expériences	19
Chapitre III. — Résistivité de quelques-unes des principales eaux minérales françaises	42
Classification des eaux minérales étudiées par ordre de résistivité croissante	97
Conclusions	101
Bibliographie	103

MAYENNE, IMPRIMERIE CHARLES COLIN